

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Под общей редакцией Я. И. ШКЛЕННИКА
и В. А. ОЗЕРОВА

Издание 3-е, переработанное и дополненное



МОСКВА « МАШИНОСТРОЕНИЕ » 1984

В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман, Н. Н. Лященко,
Г. К. Милицын, В. А. Озеров, И. Б. Сокол, М. Я. Телис,
Я. И. Шкленник

Рецензент д-р техн. наук проф. И. В. ВАЛИСОВСКИЙ

Литье по выплавляемым моделям/В. Н. Иванов,
Л64 С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др.; под общ. ред.
Я. И. Шкленника, В. А. Озерова.—3-изд., перераб.
и доп.—М.: Машиностроение, 1984.—408 с., ил.

В пер.: 2 р.

Приведены характеристики качества отливок и принципы их конструкции, методы проектирования и расчета литниково-питающих систем, составы и свойства литейных сплавов; рассмотрены конструктивные разновидности пресс-форм, технологические процессы изготовления моделей и литейных форм и применяемые материалы; приведены сведения о плавке сплавов, заливке форм, выбивке, очистке, термообработке и контроле отливок. В третьем издании (2-е изд. 1971) внесены последние достижения теории и практики производства отливок в содержание всех глав.

Для инженеров и техников, работающих в области литейного производства.

Л 2704020000-618
038(01)-84 56-83

ББК 34.61
6П4.1

© Издательство «Машиностроение», 1984 г.

Метод литья по выплавляемым моделям, благодаря преимуществам по сравнению с другими способами изготовления отливок, получил значительное распространение в машиностроении и приборостроении.

Промышленное применение этого метода обеспечивает получение из любых литейных сплавов сложных по форме отливок массой от нескольких граммов до десятков килограммов со стенками, толщина которых в ряде случаев менее 1 мм, с шероховатостью от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1,25$ мкм (ГОСТ 2789—73) и повышенной точностью размеров (до 9—10-го квалитетов по СТ СЭВ 144—75)¹.

Указанные возможности метода позволяют максимально приблизить отливки к готовой детали, а в ряде случаев получить литевую деталь, дополнительная обработка которой перед сборкой не требуется. Вследствие этого резко снижаются трудоемкость и стоимость изготовления изделий, уменьшается расход металла и инструмента, экономятся энергетические ресурсы, сокращается потребность в рабочих высокой квалификации, в оборудовании, приспособлениях, производственных площадях. Применение литья по выплавляемым моделям открывает перед конструкторами возможности проектировать сложные тонкостенные конструкции, объединять различные детали в компактные цельнолитые узлы, уменьшая массу и габариты изделий, создавать детали (например, охлаждаемые лопатки со сложными лабиринтными полостями газового тракта), невыполнимые каким-либо другим методом обработки. Вследствие химической инертности и высокой огнеупорности оболочек форм, пригодных для нагрева до температур, превышающих температуру плавления заливаемого сплава, создается возможность эффективно использовать методы направленной кристаллизации, управлять процессом затвердевания для получения, например, герметичных прочных тонкостенных точных отливок, либо монокристаллических деталей с высокими эксплуатационными свойствами.

Таким образом, расширение номенклатуры получаемых по выплавляемым моделям отливок и увеличение объема их выпуска способствует реализации решений XXVI съезда КПСС по применению энерго- и металлосберегающих процессов, снижению удельной металлоемкости машин, замене технологических процессов, основанных на резании металла, экономичными методами формообразования де-

¹ Включенные в книгу данные соответствуют действующим стандартам по состоянию на 1 декабря 1983 г.



Рис. 1. Памятник Петру I

талей, внедрению высокоэффективных методов повышения прочностных свойств металлов*.

Прообразом современного процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям является известный со времен глубокой древности метод восковой формовки [41, 75]. При изготовлении художественных отливок, ювелирных изделий, а также зубных протезов этот метод литья по выплавляемым моделям применяют и в настоящее время.

Одним из образцов высокого мастерства литейщиков прошлого является отлитая по выплавляемым моделям конная статуя Петра I («Медный всадник», Фальконе, 1782 г.), показанная на рис. 1.

Начало промышленного освоения метода относится к 1940—1942 гг. и связано в основном с необходимостью получения из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов лопаток авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Первые промышленные партии отлитых по выплавляемым моделям лопаток из сплавов на кобальтовой и никелевой основе были получены в СССР в 1944 г. В освоении

* Материалы XXVI съезда КПСС. М.: Политиздат, 1981, 223 с.

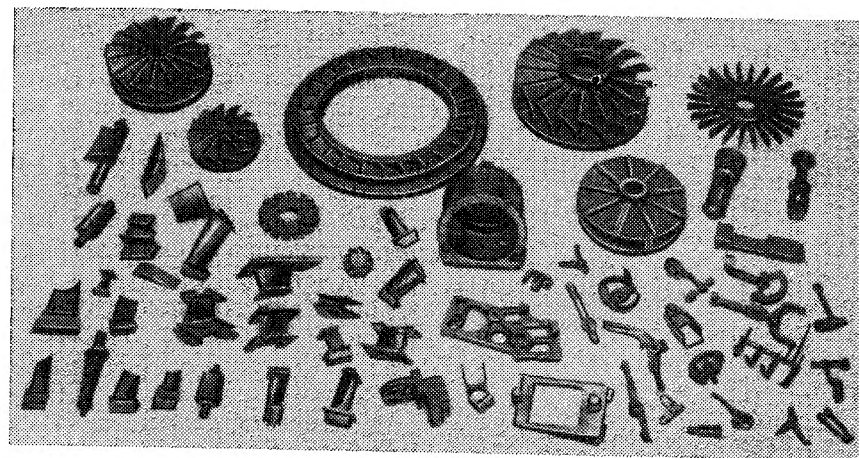


Рис. 2. Отливки из конструкционных сталей, жаропрочных, алюминиевых и медных сплавов, изготовленные по выплавляемым моделям

технологии, создании отечественных вариантов процесса и необходимых материалов приняли активное участие академик К. А. Андрианов, проф. Ф. Ф. Химушин, лауреаты Государственной премии кандидаты техн. наук А. А. Арутюнянц, И. Г. Лиференко и многие другие работники отечественной промышленности, НИИ, проектных организаций и вузов. Несколько позже литье лопаток для стационарных турбин было освоено турбостроителями Ленинграда. В конце 40-х годов было освоено получение по выплавляемым моделям разнообразных мелких, преимущественно стальных отливок, например, для мотоциклов, охотничьих ружей, швейных машин, а также бурового и металлорежущего инструмента (рис. 2).

По мере развития и совершенствования процесса усложнялась конструкция изготавливаемых по выплавляемым моделям отливок. Так, в начале 60-х годов из жаропрочных сплавов на никелевой основе изготавливались уже крупные цельнолитые роторы с бандажным кольцом, одна из разновидностей которых представлена на рис. 3.

В 1951 г. в НИИТавтопроме под руководством инж. М. Н. Ефимова были начаты работы по проектированию механизированных и автоматизированных линий массового производства мелких точных

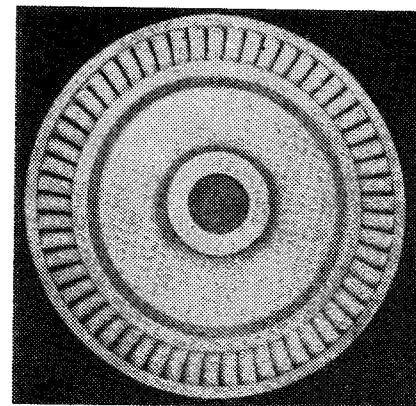


Рис. 3. Цельнолитой ротор из сплава на никелевой основе

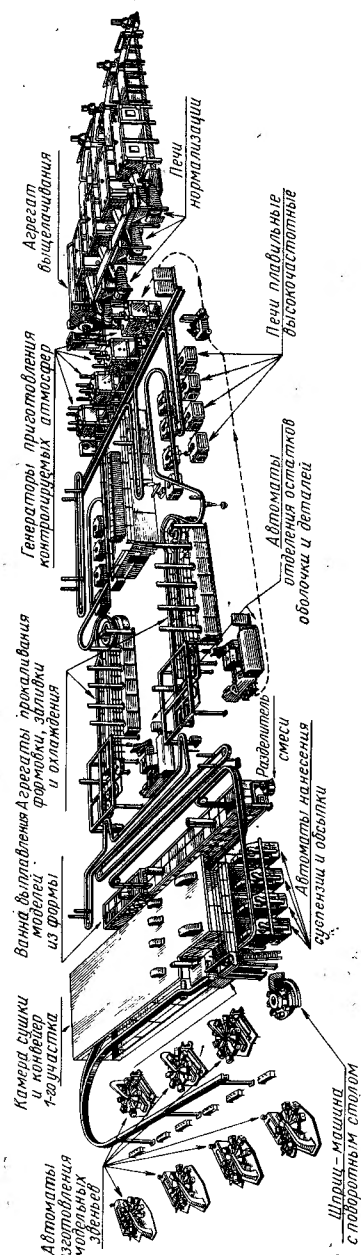


Рис. 4. Схема типовой комплексно-автоматизированной линии производства мелких стальных отливок по выплавляемым моделям

отливок. Первый механизированный цех литья по выплавляемым моделям был создан на Подольском механическом заводе им. М. И. Калинина для изготовления деталей швейных машин, а в 1964 г. на ГАЗе введена в строй типовая комплексно-автоматизированная линия (рис. 4) для производства 2—2,5 тыс. т в год стальных автомобильных отливок массой от нескольких граммов до 1,5 кг. Участники этой работы, высоко оцененной как в СССР, так и за рубежом, были удостоены Ленинской премии. В настоящее время усовершенствованный комплект оборудования для оснащения подобных линий централизованно выпускает Тираспольский завод литейного машиностроения им. С. М. Кирова. Этим оборудованием оснащены многие цехи литья по выплавляемым моделям в Советском Союзе, например крупнейший в мире цех КамАЗа с годовым выпуском ~7 тыс. отливок [64], ЗИЛа, Минского тракторного завода, а также цехи некоторых зарубежных заводов.

Современный процесс изготовления отливок по выплавляемым моделям состоит в следующем. В пресс-формах изготавливают модели деталей и литниковой системы, для чего обычно используют легкоплавкие воскообразные материалы, составы на основе смол и пластмасс, сплавы солей. Модели соединяют в блок, после чего на них слоями наносят суспензию из связующего раствора и пылевидного огнеупорного материала. Слои суспензии для их упрочнения и лучшей

взаимной связи обсыпают песком, а затем сушат. Из полученной многослойной неразъемной оболочковой формы удаляют выплавлением, растворением или выжиганием модельный состав либо сначала заформовывают блок моделей с образованной на его поверхности огнеупорной оболочкой в отверждаемый формовочный состав, а после этого удаляют модели. Освобожденные от модельного состава оболочки отдельно (без опок) или в заформованном виде прокаливают и заливают металлом. Подробная схема процесса изготовления отливок в многослойных неразъемных оболочковых формах приведена на с. 8—9.

В начальной стадии промышленного освоения метода литья по выплавляемым моделям использовали весьма сложный и трудоемкий процесс, основанный на применении дорогих исходных материалов — натуральных восков, жидких формовочных наполнителей с гидролизированными растворами этилсиликата в качестве связующего. Ввиду длительности процесса (до 5—6 сут) и высокой стоимости получаемых отливок метод имел ограниченное применение.

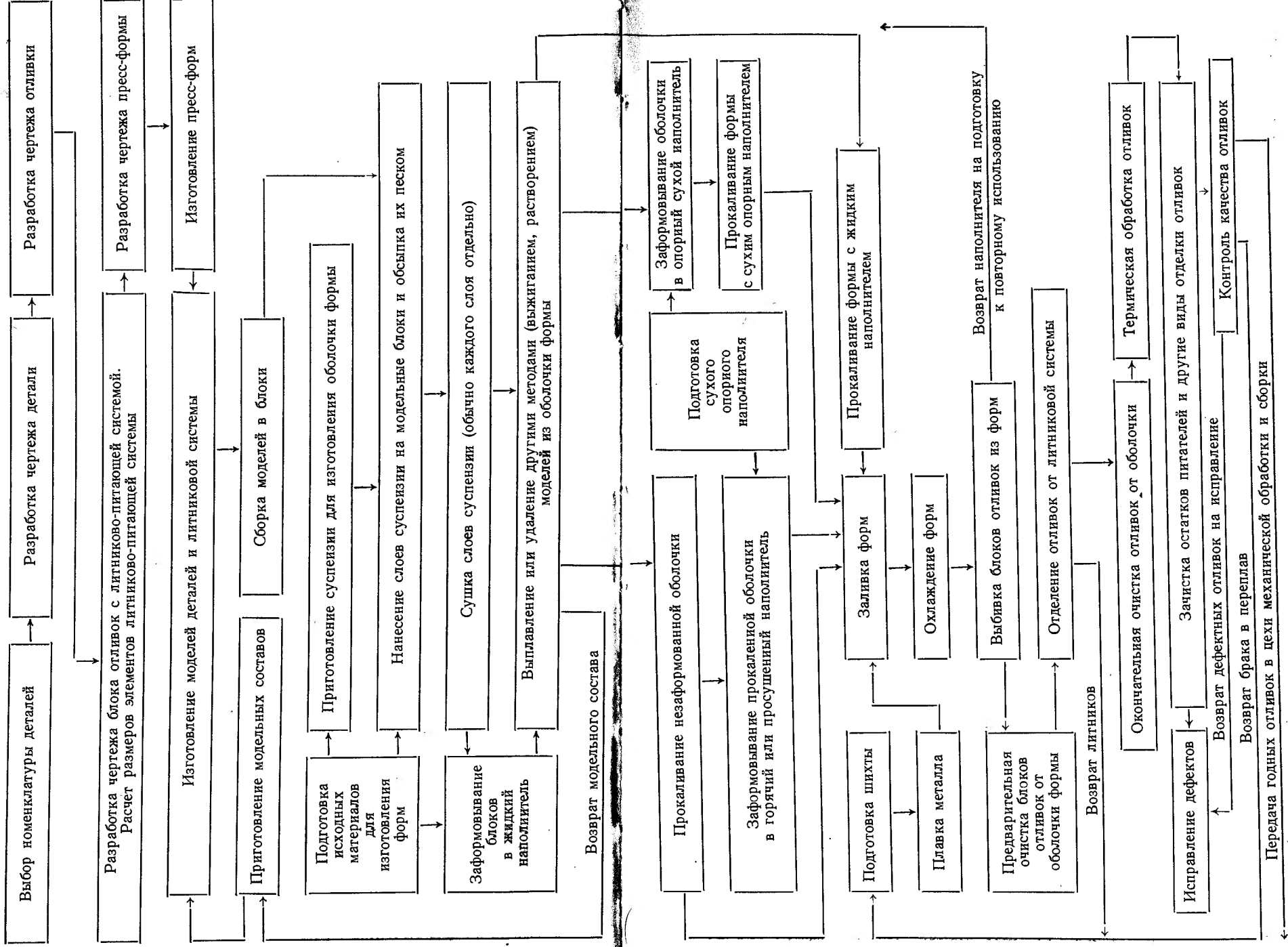
Проведенные в Советском Союзе и за рубежом работы по совершенствованию технологического процесса, изысканию новых модельных и формовочных материалов, созданию высокопроизводительного оборудования, интенсификации основных и вспомогательных производственных операций позволили значительно расширить возможности метода литья по выплавляемым моделям, сделать высокоэффективным его применение в условиях массового, серийного и опытного производства.

Широкое распространение в мировой практике получил разработанный советскими специалистами метод изготовления оболочковых форм с сухим опорным наполнителем, позволяющий полностью отказаться от использования жидких наполнительных формовочных составов с дорогим связующим — гидролизированным раствором этилсиликата. Применение сухого наполнителя, пригодного для многократного использования, позволило не только снизить стоимость изготовления литейной формы, но и сократить продолжительность этого процесса в несколько раз, в том числе в 8—10 раз длительность такой энергоемкой операции, как тепловая обработка форм перед заливкой. Еще более эффективным оказался процесс, при котором прочные и термостойкие оболочки прокаливают и заливают без опорного наполнителя.

Разработка модельных составов на основе недефицитных и дешевых материалов — парафина, синтетического церезина, бурого угольного и полиэтиленового восков, а также созданного в отечественной промышленности метода использования этих составов в пастообразном состоянии, позволила не только резко снизить стоимость производства отливок, но и стабилизировать их качество в условиях массового производства, механизировать и автоматизировать процесс изготовления моделей, сократить его продолжительность.

Значительными достижениями советских специалистов в области совершенствования производства литья по выплавляемым моделям являются: создание бесстеариновых модельных составов на основе

Схема процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям



парафина и ряда воскообразных материалов; разработка технологии получения сложных тонкостенных отливок с использованием керамических стержней и водорастворимых моделей; создание высокопроизводительных автоматических установок для приготовления пастообразных модельных составов с регулируемым содержанием замешанного в них воздуха; применение метода звеньевого изготовления моделей и сборки их в блоки без припаивания на металлический стоек-каркас; исследование и внедрение в производство этилсиликатных связующих растворов, полученных без использования органических растворителей; разработка совмещенного метода приготовления связующего раствора и суспензии; синтез высококонденсированного этилсиликата (ЭТС 50—54), являющегося готовым концентрированным связующим; использование в качестве связующего кремнезоль, а также фосфатных и комбинированных связующих (этилсиликат—фосфаты, этилсиликат—кремнезоль); применение в качестве огнеупорной основы форм высокоглиноземистого шамота, силлиманита и непрозрачного кварцевого стекла вместо кристаллического кварца; создание методов формирования оболочек с армирующими и высокопористыми слоями, стабилизирующими качество литейных форм; разработка комплексно автоматизированного процесса литья по пенополистироловым моделям, допускающим сушку оболочек во время их формирования при повышенных температурах; исследование и использование электрофоретических явлений для совершенствования процесса изготовления двухслойных оболочек форм; внедрение в производство вакуумно-аммиачного метода сушки слоев суспензии и выпуск оборудования для его осуществления; разработка метода ускоренного прокаливания и подогрева оболочек форм в псевдокипящем слое, а также прокаливания в вакууме; совершенствование методов изготовления керамических стержней; освоение процесса получения тонкостенных отливок из титановых и других сплавов центробежно-вакуумным способом; разработка способа нанесения пироуглеродного покрытия на рабочую поверхность оболочек форм; применение способа модифицирования поверхностных слоев отливок в форме в целях измельчения структуры и повышения эксплуатационных качеств деталей; организация производства и применение при порционной вакуумной плавке специальных сплавов готовых тиглей из огнеупорных и химически нейтральных к расплаву материалов; освоение процесса направленной кристаллизации и получения отливок с монокристаллической структурой; создание новых методов очистки стальных отливок от остатков оболочки в расплавах солей; разработка составов легко разупрочняемых форм для изготовления отливок из алюминиевых сплавов.

Для современного периода развития производства литья по выплавляемым моделям как в СССР, так и за рубежом характерно создание крупных механизированных и комплексно автоматизированных цехов, предназначенных для массового и серийного выпуска отливок с годовым выпуском отливок до 10 тыс. т. Отечественный опыт крупномасштабного производства отливок по выплавляемым моделям использован при организации заводов точного литья в ГДР

и ЧССР. В последние годы крупные механизированные цехи литья по выплавляемым моделям созданы в Англии, США, Японии, ФРГ, Франции, Италии, Швейцарии, Швеции и других капиталистических странах. С помощью советских специалистов точное литье осваивается в ряде развивающихся стран.

Дальнейший технический прогресс в производстве отливок по выплавляемым моделям связан с максимальным использованием конструкторами возможностей метода, созданием сплавов, наиболее технологичных для специфических условий формирования отливок в прокаленных огнеупорных формах, совершенствованием применяемых модельных и формовочных материалов, рационализацией и интенсификацией всех технологических операций от изготовления моделей до очистки отливок, обеспечением управляемости и стабильности технологических процессов, максимальной автоматизацией производства и созданием благоприятных, безопасных условий труда, сокращением отходов производства и обеспечением безопасности его для окружающей среды, совершенствованием методов контроля как моделей, форм и отливок в процессе изготовления, так и готовой продукции.

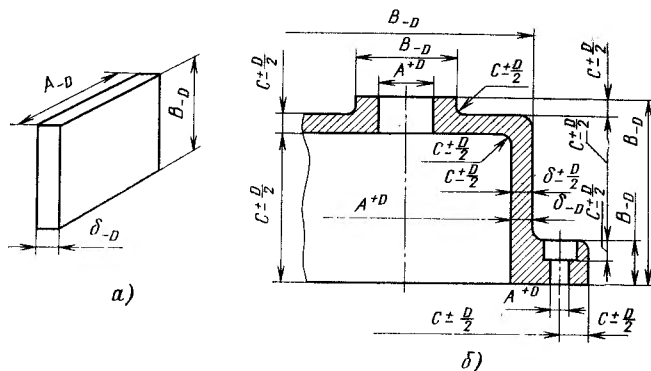


Рис. 1.1. Схемы определения допуска на толщину стенки детали: а — простой; б — сложный

ных — по B_7 , прочих — по $C_8/2$ (т. е. $\pm 1/2$ допусков 8-го класса). При такой системе обозначения допусков в значительной степени сокращается время на разработку и оформление рабочих чертежей готовых литых деталей [56].

В соответствии с принятой системой допусков в машиностроении полное поле допуска на толщину стенки δ у простой детали при определенных размерах A и B (см. рис. 1.1, а) располагается «в теле» стенки (рис. 1.3, а) и обозначается D . Допуск на ту же толщину стенки δ в сложной детали (см. рис. 1.1, б) может быть односторонним минусовым — D , когда толщина стенки δ обусловлена конструктором размерами A и B (рис. 1.1, б), или двусторонним симметричным (рис. 1.3, б), когда стенки обусловлены конструктором размерами C (см. рис. 1.1, б) или двумя радиусами C .

Исследованиями большого числа деталей, изготовляемых литьем по выплавляемым моделям, установлено, что рассеяние размеров толщины стенок отливок в большинстве случаев подчиняется закону нормального распределения. Кривые фактического рассеяния толщин стенок близки по форме к кривым нормального рас-

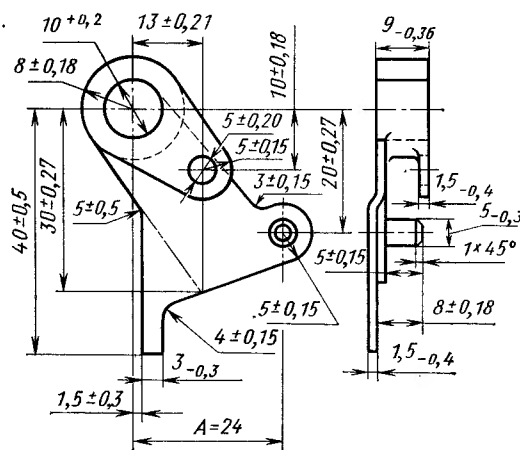


Рис. 1.2. Чертеж отливки

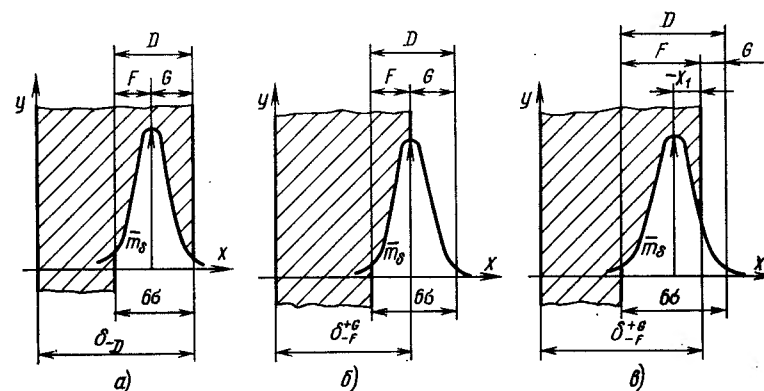


Рис. 1.3. Расположение полного поля допуска:

а — одностороннее минусовое (в тело); б — двустороннее симметричное при $F = G$; в — двустороннее несимметрично минусовое, при $F > G$ на величину $-X_1$

пределения. Это подтверждает сопоставление кривых распределения и вычисленные критерии согласия Колмогорова. Размах колебаний размеров отдельных элементов толщин стенок ($3\sigma/\delta$) 100 в процентах от среднего арифметического размера $\bar{m}_\delta$ (см. рис. 1.3, в) для применяемых толщин стенок составляет 21,0—6,3 %.

На основании установленных зависимостей разработаны нормативы среднеэкономической размерной точности толщин стенок отливок, изготовляемых по выплавляемым моделям (табл. 1.1).

При исследованиях установлено, что происходит отклонение среднеарифметического размера $\bar{m}_\delta$ (см. рис. 1.3, в) «в тело» стенки на величину $-X_1$ вследствие деформации (прогиба) стенок оболочки формы. Для различных толщин стенок и габаритных размеров отливок $-X_1 = 0,12 \div 0,72$ мм, что составляет примерно 1/4 часть полного поля допуска, указанного в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Нормативы размерной точности толщин стенок отливок

Наибольшие габаритные размеры отливки	Допускаемые отклонения, мм, при номинальных толщинах стенок, мм									
	от 1 до 3		Св. 3 до 6		Св. 6 до 10		Св. 10 до 18		Св. 18 до 30	
	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск
До 30	8	0,4	9	0,75	10	1,5	—	—	—	—
30—80	8	0,4	9	0,75	10	1,5	10	1,8	—	—
80—120	9	0,6	10	1,2	10	1,5	10	1,8	10	2,1
120—250	9	0,6	10	1,2	10	1,5	10	1,8	10	2,1
250—400	10	1,00	11	1,6	11	2,0	11	2,2	11	2,5
400—500	—	—	11	1,6	11	2,0	11	2,2	11	2,5

Таблица 1.2

Допустимые отклонения размеров отливок, мм

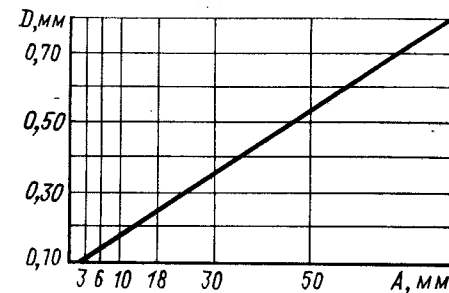
Наибольшие габаритные размеры отливок, мм	Группа точности					
	повышенная		средняя		пониженная	
	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск
До 30	4	0,13	5	0,20	6	0,33
30—80	5	0,30	6	0,46	7	0,74
80—120	6	0,54	7	0,87	8	1,40
120—250	6	0,72	7	1,15	8	1,80
250—400	7	1,35	8	2,20	9	3,30
400—500	7	1,55	8	2,50	9	3,80

Уменьшение толщин стенок отливки при литье по выплавляемым моделям приводит к снижению ее массы. Это снижение против теоретического (расчетного) значения может достигать для применяемых толщин стенок 3,5—10,5 % и определяется по формуле $G = (-X/\delta) 100$. В связи с этим отклонение по массе всегда будет только в сторону уменьшения от теоретического расчетного. Поэтому отпадает надобность в нормативах на допустимые верхние отклонения по массе.

Внесение нормативов на размерную точность толщин стенок отливок (см. табл. 1.1) обусловило корректировку допустимых отклонений на остальные размеры отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям (табл. 1.2).

Из табл. 1.2 следует, что в наиболее распространенном диапазоне изменения размеров отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям, до 500 мм фактически достижимая точность находится в пределах 4—9-го классов стандартов машиностроения СССР, что соответствует 11—16-му квалитетам СТ СЭВ 144—75. На отдельных контролируемых размерах, преимущественно мелких, может быть получена и более высокая точность (до 3-го класса), однако для ее обеспечения необходимо соблюдение ряда условий, удорожающих и усложняющих производство (например, использование оснастки высокой точности, дорогостоящих формовочных и модельных материалов). Кроме того, повышением требований к размерной точности неизбежно будет увеличиваться отсев отливок в брак по размерам. Поэтому при конструировании отливок назначение жестких допусков на отдельные размеры должно быть технологически и экономически оправдано. Точность в основном зависит от контролируемого размера, сложности конфигурации и конструктивных особенностей отливки, свойств литейного сплава, качества и свойств модельных и формовочных материалов, точности применяемой оснастки, качества используемого оборудования, точности соблюдения оптимальных технологических режимов на всех операциях — от получения модели до очистки и термообработки отливок [1].

В качестве примера исследований фактически достигаемой точности отливок рассмотрим данные математической обработки ре-

Рис. 1.4. Зависимость допусков D от размеров отливок

зультатов измерения размера A стальной отливки, изображенной на рис. 1.2. Измеряли 400 отливок. Из сравнения гистограммы с кривой, выравнивающей частоту допусков, очевидно, что закон распределения допусков близок к нормальному закону. Допустимость расхождений кривых выравнивающих частот и гистограмм определяли с помощью критерия Колмогорова. Исследования показали, что зависимость допусков от размеров получается линейной (рис. 1.4), тогда как у деталей, получаемых механической обработкой, она выражается кубической параболой. Поэтому допуски, принятые в указанных выше стандартах машиностроения, не согласуются с допусками при литье по выплавляемым моделям. Однако систему допусков, применяемую в машиностроении, все же используют. Экономическая эффективность этого определяется возможностью применения парка калибров, снижением стоимости отливок, а также вследствие увеличения допусков на размеры деталей, к точности которых предъявляются невысокие требования, устранением брака в механических цехах, возникающего в связи с применением неправильных схем нанесения размеров и допусков.

Шероховатость поверхности отливок. Для оценки шероховатости поверхности машиностроительных деталей используют ГОСТ 2789—73. Этим стандартом установлены требования к шероховатости поверхности изделий, в том числе из любых металлов и сплавов независимо от способа их получения или обработки.

Требования к шероховатости поверхности устанавливают указанием числовых значений параметра (или параметров) и базовой длины, на которой определяют параметр. Стандартом предусмотрены шесть параметров: три высотных и три шаговых. Высотные параметры: Ra — среднее арифметическое отклонение профиля, мкм; Rz — высота неровностей профиля по 10 точкам, мкм, и $Rmax$ — наибольшая высота профиля, мкм. Шаговые параметры: Sm — средний шаг неровностей, мм; S — средний шаг неровностей по вершинам, мм, и tp — относительная опорная длина профиля, %.

Параметр Ra , являющийся предпочтительным и представляющий собой среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l , определяется по формуле

$$Ra = (1/l) \int_0^l |y| dx$$

или приближенно

$$Ra = (1/n) \sum_{i=1}^n |y|,$$

где y — отклонение профиля (расстояние между любой точкой профиля и средней линией); l — базовая длина (длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности); n — число выбранных для замеров точек профиля. Приближенный метод, применяемый в статистике, дает усредненное значение микронеровностей. Чем больше измерений проведено на одном и том же участке, тем точнее можно определить Ra .

Обозначения шероховатости поверхностей приведены в ГОСТ 2.309—73. Для отливок по выплавляемым моделям наиболее характерна шероховатость поверхности от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1,25$ мкм. Шероховатость поверхности отливок, изготовляемых по выплавляемым моделям, в основном тем больше, чем выше шероховатость поверхности рабочей полости пресс-форм и получаемых в ней моделей, крупнее зерна пылевидного и обсыпочногo материала, которые применяют для изготовления первого слоя оболочки, выше смачиваемость расплавом материала формы и ниже стойкость последнего против воздействия расплава и его окислов. Шероховатость поверхности отливок всегда ниже шероховатости поверхности рабочих частей пресс-формы и моделей и зависит в основном от размеров зерен пылевидного материала. После химической, гидропескоструйной и дробеметной очистки отливок шероховатость поверхности их обычно тем больше, чем крупнее зерна применяемых при очистке материалов и ниже твердость поверхности отливки.

Поверхностные дефекты, выявляемые после очистки (следы окислов и плен, засор, неметаллические включения), ухудшают качество поверхности отливок.

Шероховатость поверхности определяют, используя приборы, как непосредственно соприкасающиеся с контролируемой поверхностью («ощупывание» ее), так и не соприкасающиеся с ней.

«Ощупывающие» приборы высокой точности, например профилометр — профилограф мод. 201 завода «Калибр», снабжены алмазной иглой с малым радиусом скругления. Колебания иглы преобразуются в изменения напряжения индуктивным методом. Профилограмма, на которой определяют величину и профиль микронеровностей, записывается прибором в прямоугольных координатах. Пределы измерений приборов этого типа $Rz = 20 \div 0,025$ мкм. Наиболее распространенным прибором, позволяющим контролировать шероховатость поверхности без соприкосновения с ней является двойной микроскоп МИС 14 конструкции В.А. Ланника. В этом микроскопе использован принцип «светового сечения», так же как и в другом выпускаемом отечественной промышленностью приборе ПСС-2.

Шероховатость поверхности отливок иногда оценивают визуально, путем сравнения с эталонами.

Механические свойства металла отливок. Результаты механических испытаний образцов, вырезанных из специально отлитой

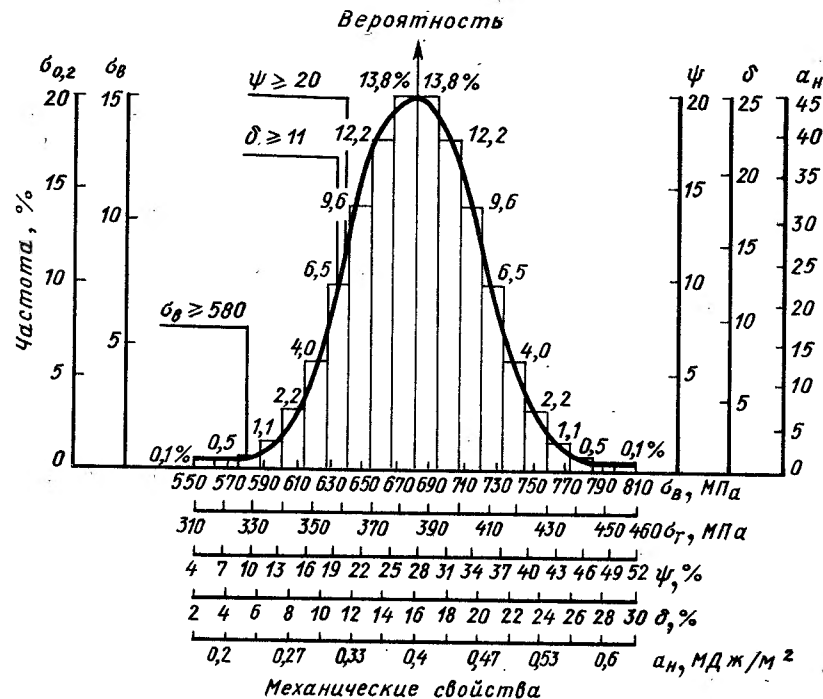


Рис. 1.5. Предельные значения механических свойств стали 50Л, полученные на 200 стандартных образцах

пробы, характеризуют качество металла или сплава, идущего на отливки. Однако в большинстве случаев эти пробы не дают представления о свойствах металла и сплава в самих отливках. Неоднородность металла и внутренние пороки в нем зависят от толщины стенки, которая по данным анализа отливок 150 наименований колеблется в пределах 1,5—30 мм; чаще встречаются стенки толщиной 2, 3, 5, 10 мм. Длина отливок, как правило, 100—500 мм.

Результаты механических испытаний опытных плавок и данные, полученные на заводах, были статистически обработаны по каждой толщине отливки. В качестве примера на рис. 1.5 представлены результаты статистической обработки данных о механических свойствах стали 50Л, полученных на 200 литых образцах круглого сечения (диаметром 5 мм) для испытаний на растяжение и квадратного сечения 10×10 мм с надрезом для испытаний на ударную вязкость. На рисунке видно, что у 0,2 % образцов с литыми поверхностями, подвергнутых испытанию, временное сопротивление менее установленного ГОСТом на литейную сталь ($\sigma_{в} = 580$ МПа), а у 1,7 % образцов предел пропорциональности ниже требуемого. Ударная вязкость менее 0,25 МДж/м² получилась у 4,8 % образцов. Наибольшее

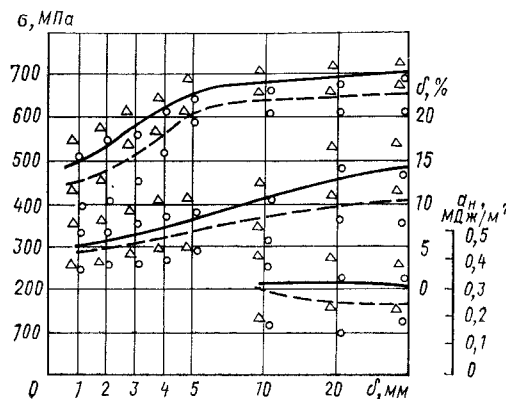


Рис. 1.6. Механические свойства стали 50Л в стенках различной толщины: Δ — заливка снизу; $\circ$ — заливка сверху; минимальные значения по ГОСТу $\sigma_v \geq 580$ МПа; $a_H = 0,25$ МДж/м²; $\delta \geq 11$ %

число образцов с показателями, меньшими установленных стандартом, имеет относительное удлинение 7,9 % и сужение 16 %.

Обработанные данные по всем подвергнутым испытанию отливкам со

стенками различной толщины δ представлены на рис. 1.6. Как видно, с уменьшением толщины стенки механические свойства стали понижаются; причем при заполнении полости формы сверху они несколько ниже, чем при заполнении снизу. Понижение механических свойств литой стали с уменьшением толщины стенок можно объяснить тем, что сравнительно тонкие стенки затвердевают очень быстро, причем окислы и газы, замешанные в жидкую сталь при заливке, не успевают выходить из нее. Кроме того, при быстром затвердевании в тонких стенках может образоваться пористость усадочного происхождения, так как затруднены условия фильтрации жидкой фазы.

При испытании образца на растяжение разрыв происходит в том месте, где находится наибольший дефект. Прочностные и пластические свойства стали в этих местах снижаются, вследствие повышения содержания окислов и эмульгированных газов, которые образуются в большом количестве при заливке формы сверху.

Исследования показали, что принятая треновидная и клиновидная конструкции пробы и взятые из стандарта значения механических свойств литой углеродистой стали не могут характеризовать действительные механические свойства отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям. Их нельзя также принимать и для расчетов при конструировании отливок, так как толщина стенок в отливках чаще всего составляет 2—5 мм, в то время как толщина пробы по ГОСТу принята 13—18 мм.

Только для элементов отливок, где обеспечено направленное затвердевание и достаточное питание затвердевающей части, можно принять данные ГОСТа. Свойства следует определять по круглым и прямоугольным заготовкам-пробам, а не по клиновидной и треновидной пробам. Для более тонких частей отливки при отсутствии направленного затвердевания в направлении С (рис. 1.7, а) значения механических свойств по сравнению со значениями, рекомендуемыми ГОСТом, уменьшаются: σ_v на 10—20 %; δ на 15—25 %; ψ на 20—30 %.

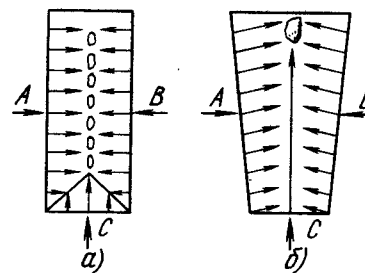


Рис. 1.7. Схемы направления затвердевания металла в отливках: а — равностенная отливка; б — отливка с напуском; А, В и С — направления продвижения фронта затвердевания

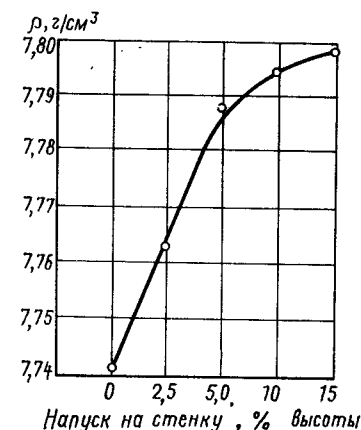


Рис. 1.8. Зависимость плотности стали 50Л от напуска на стенке отливки

В тех случаях, когда требуется обеспечить наиболее высокие механические свойства металла в определенных стенках отливок и высокую их герметичность, необходимо создавать направленное затвердевание металла отливок в форме и достаточное питание их из литниково-питающей системы.

Направленное затвердевание может быть обеспечено следующими методами.

1. Конструированием стенок отливок с применением напусков, как показано на рис. 1.9, б. Целесообразен напуск в пределах 5—10 % высоты стенки (рис. 1.8).

2. Назначением соответствующих радиусов r во внутренних углах α сопряжения стенок отливок или на внешних углах l формы (рис. 1.9).

3. Назначением соответствующих расстояний a между отливками или их конструктивными элементами. При сравнительно близком (4—5 мм) расположении стенок отливки между собой затвердевание

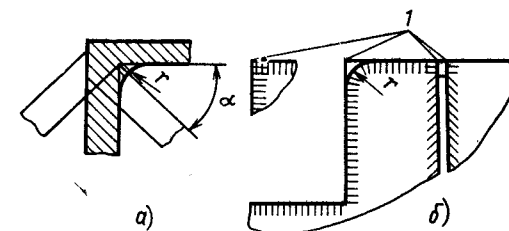


Рис. 1.9. Схема образования «горячего» узла вследствие перекрещивания тепловых потоков: а — сопряжение стенок в отливке с образованием внутреннего угла; б — «горячий» острый угол l на форме и перекрещивающиеся тепловые потоки

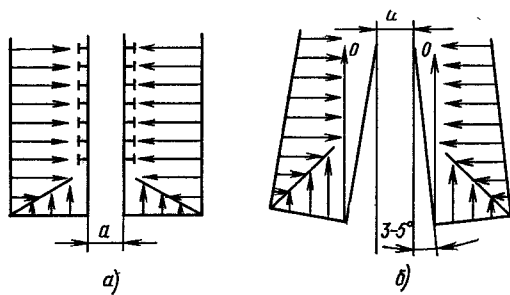


Рис. 1.10. Затвердевание двух отливок:

a — близко расположенных одна к другой; пористость вышла на поверхность при расстоянии между отливками $a = 4$ мм; b — расположенных под углом

происходит по схеме, показанной на рис. 1.10, a . При этом осевая пористость перемещается на взаимно обогреваемые поверхности отливок.

При расположении отливок или их стенок под углом $3-5^\circ$ (рис. 1.10, b) пористость перемещается в верхние отливки, при $a > 6$ мм пористость перемещается ближе к центру стенки.

4. Применением конических прибой-обогревателей C , располагаемых между отливками (рис. 1.11). Чтобы обеспечить наиболее высокие механические свойства металла в отливках и высокую их герметичность, необходимо заполнять формы металлом снизу, в положении, показанном на рис. 1.11, b . Затем форму нужно повернуть на 180° , чтобы обеспечить необходимое направленное питание из литниково-питающей системы.

5. Управлением продвижения фронта затвердевания по схеме (рис. 1.12, a), когда оно происходит только по стрелке C и при отсутствии зарождения кристаллов на боковых поверхностях в направлениях A и B . Если сплав направленно затвердевает в литейной форме с открытой нижней торцевой частью (без изоляции), которая находится в контакте с водоохлаждаемым холодильником (рис. 1.12, b), то в отливке образуется тонкостолбчатая структура. Если направленное затвердевание сплава происходит в литейной форме с закрытой нижней торцевой частью формы (с толщиной изоляции в 5—6 слоев оболочки формы), то в отливке образуется крупностолбчатая структура (рис. 1.12, $в$). При уменьшении числа слоев оболочки формы в отливке будут образовываться структуры промежуточные.

Для жаропрочного сплава ЖС6-К была опреде-

Рис. 1.11. Затвердевание отливок при воздействии конического обогревателя:

a — схема затвердевания; b — блок лопаток с обогревателями C

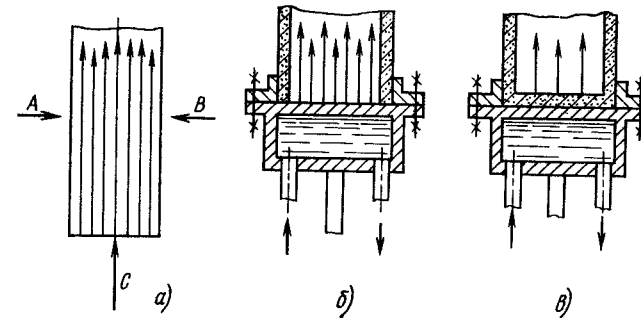
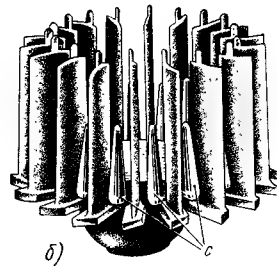
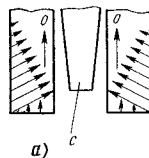


Рис. 1.12. Направленное затвердевание отливок:

a — схема затвердевания; b — с открытой полостью; $в$ — с закрытой полостью

лена оптимальная столбчатая структура, благодаря которой ресурс турбинных лопаток увеличен более чем в 2 раза.

1.2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОТЛИВОК

Объединение отдельных деталей в одну отливку. При изготовлении деталей, механическая обработка которых очень сложна, а иногда и невозможна без разделения детали на простейшие элементы, литье по выплавляемым моделям дает возможность объединять несколько отдельных мелких деталей в одну общую конструкцию. При этом учитывают экономическую целесообразность получения цельнолитого узла. На рис. 1.13 приведен пример целесообразной замены одной отливкой сложного сварного узла — корпуса ручек управления, состоящего из пяти деталей, штампованных из стали 50, с последующей механической обработкой. Применение отливки взамен штампованных заготовок, подвергаемых механической обработке и сварке, в 3 раза снизило потери металла в стружку и в 2 раза уменьшило трудоемкость механической обработки.

На рис. 1.14 показана ложная тонкостенная деталь со стенками толщиной 2 мм и наибольшим размером 344 мм, отлить которую можно только методом литья по выплавляемым моделям, так как только в нагретой до $850-900^\circ\text{C}$ форме можно обеспечить заполнение тонких стенок. Для получения отливки применяли специальный способ изготовления модели. В стержневом ящике получали растворимые стержни (рис. 1.15, a), которые набирали в пресс-форму (рис. 1.15, b), и заливали модельный состав, после чего модель помещали в воду для растворения стержней. На рис. 1.15, $в$ показана модель (часть стержней растворена).

Раньше такую деталь выполняли из 80 П-образных свариваемых элементов, вырубленных и штампованных из листовой стали толщиной 2 мм. Применение литья взамен штамповки и сварки в 3,5 раза

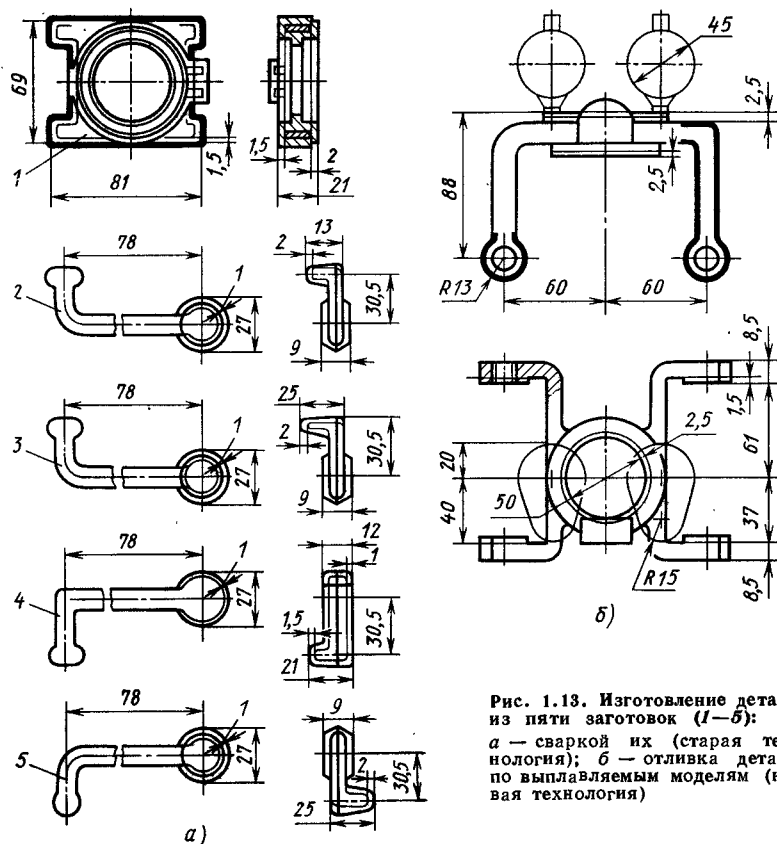


Рис. 1.13. Изготовление детали из пяти заготовок (1—5): а — сваркой их (старая технология); б — отливка детали по выплавляемым моделям (новая технология)

снизило потери металла при холодной штамповке и трудоемкость при сварке.

Расчленение деталей. Иногда целесообразно расчленить крупногабаритную деталь на несколько литых заготовок меньшего размера, а затем из отливок с помощью сварки изготовить деталь. На рис. 1.16, а показана лито-сварная деталь с наибольшим размером 650 мм. Изготовление такой детали сваркой из четырех одинаковых литых частей (рис. 1.16, б) оказалось наиболее целесообразным.

Армирование деталей. Применение армирования отливок вкладками значительно улучшает технологичность деталей. Армированием можно устранить скопление металла на отдельных участках. С помощью трубок можно получить сложные криволинейные отверстия, которые нельзя выполнить керамическими стержнями. Примером служит турбинная лопатка (рис. 1.17). Стальные трубки внутренним диаметром 2,4 мм и толщиной стенок 0,3 мм применяли в виде вставок в пресс-форму. При заливке лопаток сжатый воздух

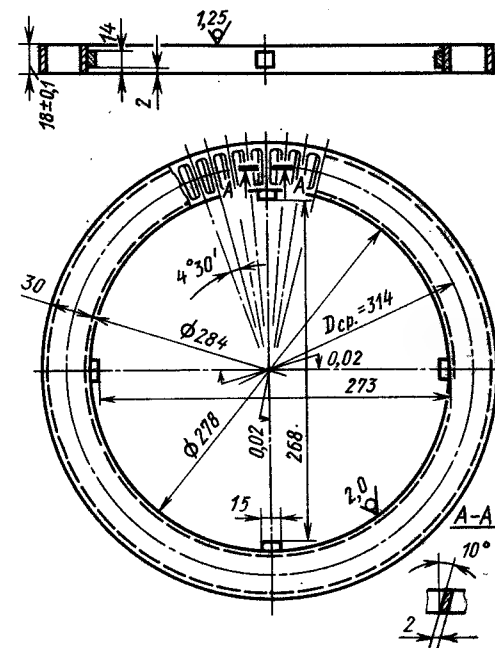
Рис. 1.14. Сложная тонкостенная деталь

в трубки не подавали, так как сечение отливки было небольшим. Концы стальных трубок были закрыты, чтобы избежать попадания в них суспензии.

Аналогичным способом изготавливали форсунки, используемые для подачи топлива в камеру сгорания. Форсунка имеет два отверстия (одно диаметром 4,75 мм, другое 3,2 мм). Пресс-форма для выплавляемой модели была сделана так, чтобы можно было установить трубки из коррозионно-стойкой стали со стенками толщиной 0,8 мм

и, таким образом, изготавливать модели с расположенными внутри них трубками. Модели литниково-питающей системы присоединяли к моделям отливок. Трубки со стороны литниковой системы соединяли между собой. В таком виде на модельный блок наносили оболочку и заформовывали в опоку с выводом трубок в нижнюю часть. После выплавления модели и прокаливания формы к одному концу трубки присоединяли шланг для сжатого воздуха. В процессе заливки и затвердевания металла трубки охлаждали сжатым воздухом, идущим по трубкам под давлением 0,05 МПа. Таким образом, была решена проблема получения мелких отверстий в отливках сложной формы.

Выбор толщины стенки отливки. При выборе толщины стенок отливки следует принимать наименьшую, обеспечивающую требуемую расчетную прочность. Если необходимо сохранить толщину стенки, а прочность ее недостаточная, следует подбирать более прочный сплав. Наименьшая толщина стенок отливки, которая может быть выполнена, 0,5—2 мм. Наиболее часто встречаемая толщина 2—5 мм. Тонкие стенки отливок могут быть выполнены только при площади их поверхности не более 100 × 100 мм. Если площадь больше, то стенки или не заполняются, или получаются со значительными колебаниями по толщине вследствие деформации оболочки. Вместо прямых стенок лучше выполнять искривленные, предусматривать технологические отверстия (окна) диаметром 10—20 мм (рис. 1.18) или ребра.



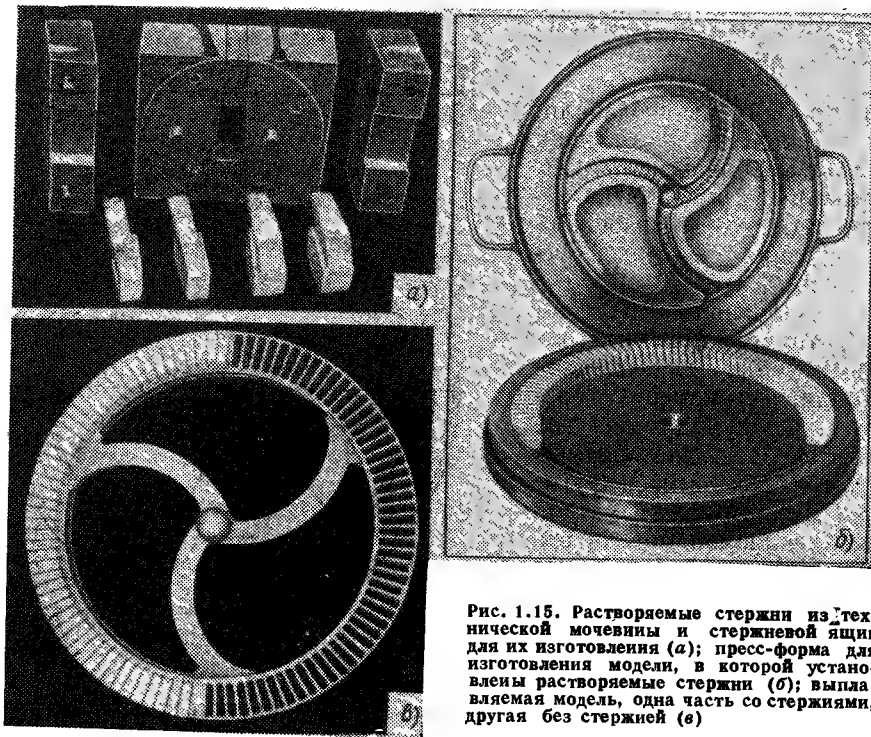


Рис. 1.15. Растворяемые стержни из технической мочевины и стержневой ящик для их изготовления (а); пресс-форма для изготовления модели, в которой установлены растворяемые стержни (б); выплавляемая модель, одна часть со стержнями, другая без стержней (в)

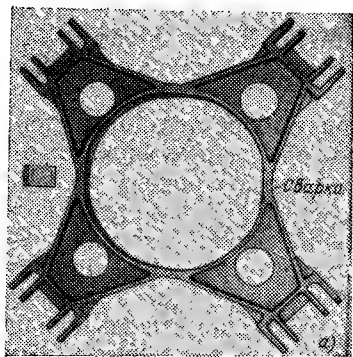


Рис. 1.16. Крупногабаритная деталь, сваренная из четырех литых одинаковых заготовок (а), и литая заготовка (б)

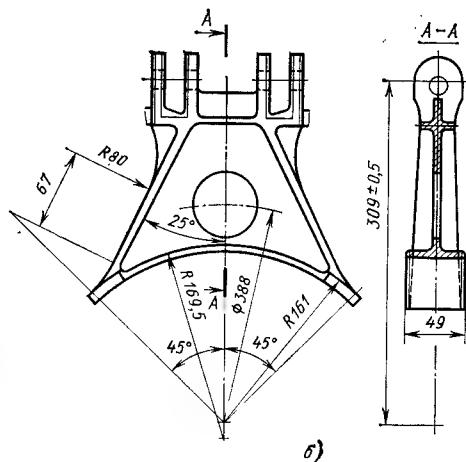


Рис. 1.17. Турбинные лопасти:

а — чертеж лопасти; б — пресс-форма для модели и выплавляемая модель; в — литая лопасть и модельный блок.

Соединение противоположных слоев оболочки через отверстия в стенках при условии, что расстояние между отверстиями или между отверстиями и границей стенки не превышает 50 мм, предупреждает прогиб оболочки даже без дополнительных ребер. Например, на опытных отливках размером 100×150 мм со стенкой толщиной всего 1,2 мм при четырех отверстиях прогиб оболочки не наблюдался.

Не исключается возможность изготовления толстостенных деталей, но при этом в сердцевине отливки, не получающей питания, строение металла менее плотное; причем при толщине стенок более 6 мм может образовываться осевая пористость усадочного происхождения. Чем толще стенка, тем больше осевая пористость.

Таким образом, увеличение толщины стенок не обуславливает пропорционального увеличения прочности. Поэтому лучше усиливать отливку ребрами. Ребра способствуют также лучшему заполнению тонких стенок отливок.

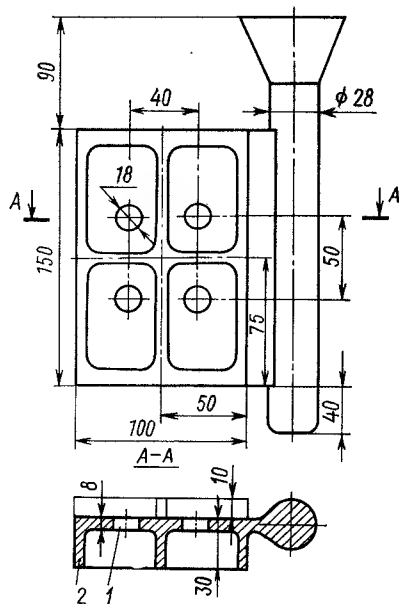


Рис. 1.18. Отливка с литниковой системой: 1 — технологические отверстия; 2 — ребра

Сопряжение двух стенок, расположенных параллельно. Следует избегать стенок в отливке с неравномерной толщиной, скоплений металла на отдельных участках и резких переходов от большого сечения к малому. Соблюдение плавных переходов является основным требованием, предъявляемым к конструкции литой детали. Плавный переход обеспечивает детали большую надежность, чем увеличение толщины стенки. Если нельзя избежать сопряжений массивных сечений с тонкими, то нужно предусмотреть плавные переходы между ними.

Толщины двух сопрягаемых стенок, расположенных параллельно (рис. 1.19), должны различаться не более чем в 4 раза. Если это различие более чем в 4 раза, следует применять клиновое сопряжение. Длина наклонной части должна быть не менее четырех величин разности толщин сопрягаемых стенок. При разности толщин менее чем в 2 раза применяют галтели.

Радиус галтели должен быть выбран таким, чтобы с получением плавного перехода предотвратить местное скопление металла. Радиус R галтелей устанавливают в зависимости от толщин малой

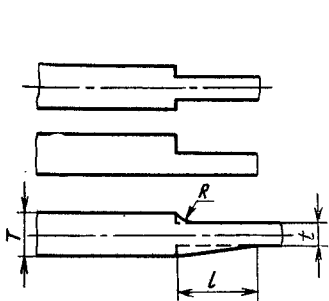


Рис. 1.19. Сопряжение двух стенок параллельное:

$$T \geq 4t; l \geq 4(T-t); R = 2t$$

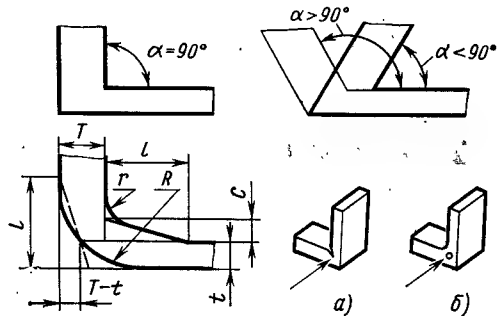


Рис. 1.20. Сопряжение двух стенок под различными углами (а), образование усадочной пористости и трещин (показано стрелкой) во внутреннем углу при малом радиусе галтели (б);

$$T \leq 4t; l \geq 4(T-t); C = T-t; r = (T+t)/S; R = T+t$$

стенки равным $2t$. Следует стремиться предельно уменьшать разнообразие радиусов галтелей и скруглений у отливок; желательно свести их к одному радиусу. В этом случае значение радиуса может быть указано на чертеже литой детали, только в примечании, например, «литейные радиусы внутренних углов R_B ». Радиус выбирают в пределах $1/5$ — $1/3$ среднего арифметического толщины сопрягаемых стенок, если по назначению и конструкции детали не требуется иного радиуса. Следует принимать радиусы галтелей в соответствии с предпочтительным рядом чисел: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 мм.

Сопряжение двух стенок под различными углами. Такое сопряжение отличается от предыдущего тем, что в нем образованы наружный и внутренний углы (рис. 1.20). В зависимости от величины внутреннего угла и радиуса галтели затвердевание может происходить с образованием усадочной пористости в зоне от центральной части сопряжения до поверхности внутреннего угла. Если внутренний угол и радиус галтели в нем очень малы, усадочная пористость и трещины образуются в углу на внутренней поверхности сопряжения.

По мере увеличения радиуса галтели и внутреннего угла сопряжения между стенками отливки усадочная пористость и раковины переходят в центр узла сопряжения. С увеличением угла или радиуса галтели при сопряжении двух стенок характер затвердевания такой же, как при затвердевании одной стенки, где можно применять методы по устранению осевой усадочной пористости так же, как и в одной стенке. В случае сопряжения стенок различной толщины их соотношение и длину конической части назначают по условиям, указанным в предыдущем сопряжении. Наиболее важной величиной в этом сопряжении является радиус галтели во внутреннем углу, который определяют в зависимости от последнего, образованного стенками отливки и толщины сопрягаемых стенок. Радиус галтели $r = (T+t)/S$ (где T и t — толщины сопрягаемых стенок отливки; S — степень замкнутости) определяется по рис. 1.21.

Сопряжение трех стенок под различными углами (рис. 1.22). Такое сопряжение отличается от предыдущего (см. рис. 1.21) тем, что в нем образованы два внутренних угла. Все величины определяют в этом сопряжении по методам, указанным для расчета их в предыдущем. Сопряжение более трех стенок в один узел не рекомендуется; например, сопряжение четырех стенок (рис. 1.23) необходимо выполнять по схеме трех стенок (см. рис. 1.22).

Конструирование пазов, полостей и отверстий. При конструировании литых деталей следует по возможности избегать глубоких пазов и узких полостей, для оформления которых могут потребоваться стержни. Ширина паза или расстояние между выступами или ребрами, образующими ширину и высоту его (рис. 1.24), могут быть выполнены при $H \leq 2d$, если для цветных сплавов $d \geq 1$ мм, а для стали $d \geq 2,5$ мм.

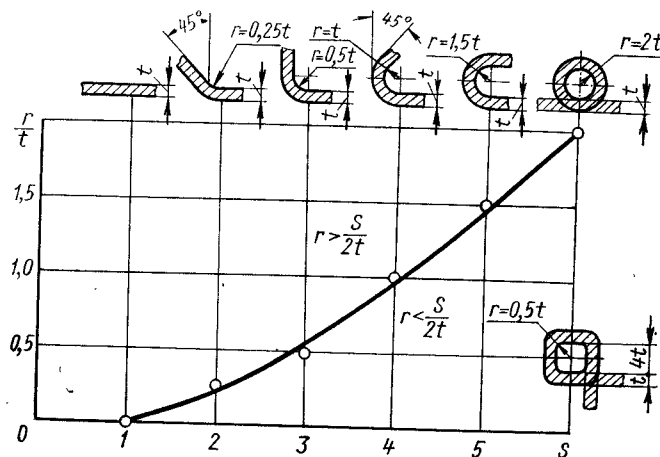


Рис. 1.21. График для определения степени замкнутости

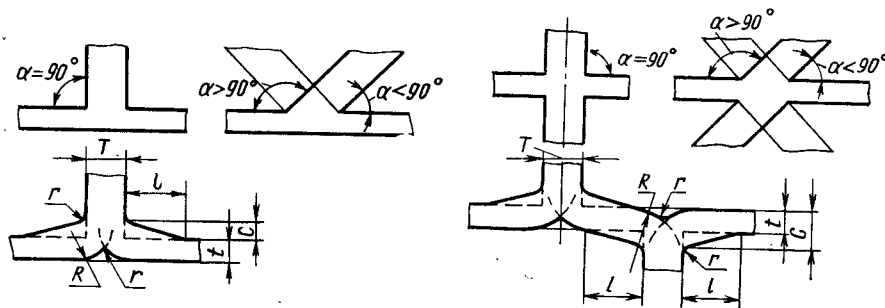


Рис. 1.22. Сопряжения трех стенок под различными углами:
 $T \leq 4t$; $L \geq 4(T-t)$; $C = T-t$, $r = (T+t)/S$; $R = T+t$

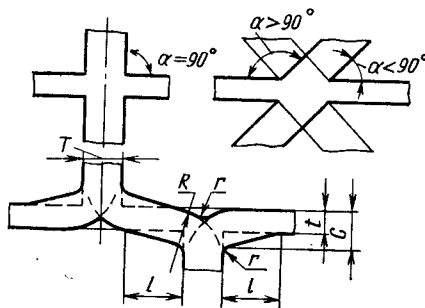


Рис. 1.23. Сопряжения четырех стенок под различными углами

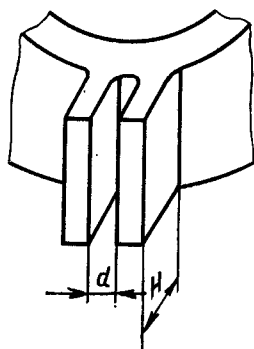


Рис. 1.24. Паз в отливке

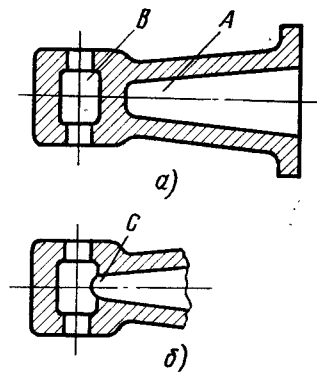


Рис. 1.25. Выполнение полостей в отливках:
 а — неправильное; б — правильное

Внутренняя полость отливки должна иметь выходные отверстия, достаточные для надежного и прочного соединения внутренней части оболочки с внешней. Выходные отверстия должны быть по возможности продолжением полости литой детали. Оболочка, образующая полость А детали, изображенной на рис. 1.25, а, имеет только одно выходное отверстие, которое не может обеспечить устойчивое положение внутренней оболочки при прокаливании формы и ее заливке. В исправленной конструкции детали (рис. 1.25, б) полости А и В соединены и образуют общую полость С. Если отверстие используют как опорное для обработки или мерительного инструмента, его поверхность необходимо обрабатывать, так как литая поверхность отверстия для указанных целей непригодна. Если отверстие используют под болт свободной посадки, под смазочное отверстие, где не требуются жесткие допуски, то обрабатывать отлитую поверхность не нужно.

Получение малых отверстий, окруженных большой массой металла, вызывает известные трудности при литье в отличие от выполнения больших и простых по форме отверстий. Например, сквозное отверстие диаметром 5 мм легко получить при глубине его до 8—10 мм, а при глубине 100 мм — только с помощью керамических стержней (см. п. 6.9). Если отверстие круглое, то применение стержней практически целесообразно, но если отверстия имеют специальный контур, то их получение обходится дорого, так как усложняется изготовление стержня. Получить в отливке глухое отверстие всегда значительно труднее, чем сквозное. Для получения в модели отверстий сложной формы можно использовать растворимые стержни, там где металлические стержни пресс-формы нельзя извлечь из модели (см. гл. 5). Целесообразно в ряде случаев армирование отливок (см. рис. 1.17).

Минимальные отверстия до 0,5 мм допускают в стенках деталей толщиной до 1 мм.

Применение литой резьбы. Литые резьбы следует использовать только в том случае, если они специальные и с крупным шагом, так как выполнение резьб литьем представляет большие трудности, особенно при мелком шаге, когда усложняется изготовление моделей, а на отливках в углублениях резьб часто возникают дефекты в виде металлических приливов.

Выполнение конусности или уклонов на отливках. При проектировании деталей конструктор должен иметь в виду, что модели следует вынимать из пресс-формы без поломок и нарушения их геометрии. Поэтому необходима конусность на поверхностях, перпендикулярных к плоскости разъема пресс-формы. Если модель оформляют в нескольких частях пресс-формы, то конструктор детали должен указать, какие поверхности могут иметь конусность, а какие нет.

Конусность в соответствии с ГОСТ 3212—80 может быть выполнена (рис. 1.26, а—в) тремя способами: увеличением толщины стенки, уменьшением ее или одновременным уменьшением и увеличением.

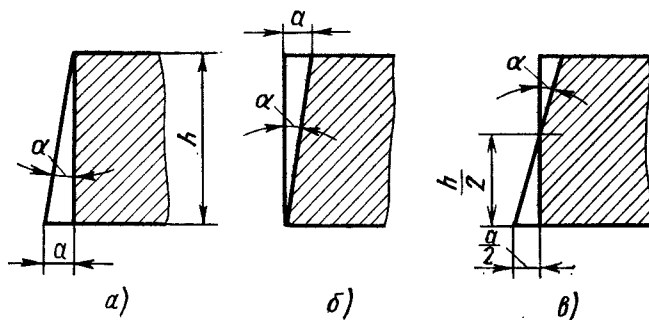


Рис. 1.26. Конусность (уклоны) на отливках

Конусность относительно высоты стенки задается в градусах или миллиметрах. При этом она на одну и ту же высоту может быть различной в зависимости от материала пресс-формы.

Если вертикальные стенки обрабатывают, то конусность дают всегда «в плюс». Также «в плюс» дают конусность, если стенку отливки не обрабатывают, но толщина ее меньше 3 мм. При толщине стенки 3—6 мм конусность, как правило, дают «в плюс—минус», а при толщине больше 6 мм — «в минус». Конусность может исказить форму необрабатываемых поверхностей и увеличить массу отливок. Поэтому литой детали целесообразно придавать конструктивные уклоны.

Для упрощения изготовления и снижения себестоимости отливок желательно иметь простую разъемную пресс-форму, при которой исключалось бы применение сложных стержней и дополнительных манипуляций с пресс-формой и моделью.

Конструирование выступов, бобышек и заплечиков для выхода инструмента. В стенках отливки, где необходимо выполнять отверстия, в большинстве случаев делают специальные выступы и бобышки. Высоту выступа устанавливают в зависимости от диаметра отверстия или толщины стенки (рис. 1.27, а, б), обычно принимают $H = (4 \div 6) D$ или $H \geq 2,5t$. Толщину стенки выступа назначают в зависимости от толщины стенки отливки $t_1 = (1 \div 1,5) t$. Если отверстие механически обрабатывают и оно базовое, то диаметр выступа принимают минимальным. Если отверстие не базовое, то диаметр выступа назначают с учетом допусков на размер от базы до центра выступа. Если отверстие располагается на торце стенки, то форму выступа конструируют так, как показано на рис. 1.28. Размер $H = 2,25D$, $C = 0,5 B$, $A = 1,5 B$. Выступы следует располагать на внешних поверхностях отливок, чтобы не усложнять конструкцию пресс-формы.

Литые заплечики для выхода инструмента часто положительно влияют на распределение напряжений. Их трудно получить механической обработкой обычным режущим инструментом. Для некоторых деталей выполнение заплечиков обязательно. Заплечики легче

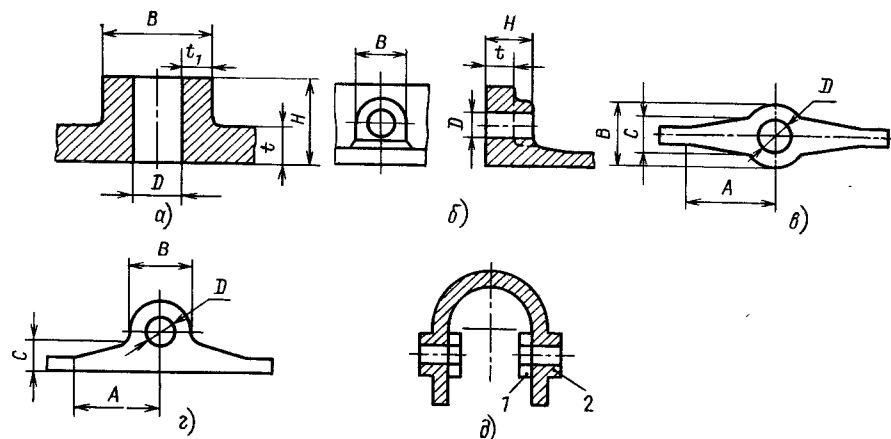


Рис. 1.27. Выступы различной формы с отверстиями:

а — на плоской стенке; б — в углу стенок; в — на торце в центре стенки; г — вдоль стенки; д — на внешней поверхности отливки; неправильное (1) и правильное (2) расположения выступа

обрабатывать шлифованием вручную, чем прямые внутренние углы (см. рис. 1.27, б). Рекомендуется принимать $b > h \geq 3$ мм (см. рис. 1.28).

Технологические базы и припуски на механическую обработку. Желательно, чтобы литая деталь имела одни базовые плоскости для изготовления и проверки пресс-форм, для производства отливок и механической обработки. Базовые поверхности должны образовываться минимальным числом элементов пресс-формы, желательно — одним, например, если они расположены в одной половине пресс-формы.

По каждой из трех пространственных осей координат необходимо иметь только одну главную базовую плоскость, а размеры ее должны быть возможно меньшими, следовательно, и допуск на базовый размер будет меньшим. Если невозможно получить общую базу для отливки и ее механической обработки, расстояние между принятыми базами нужно брать минимальным. В этом случае допуск на базовый размер будет наименьшим. Желательно, чтобы такие базовые поверхности были сторонами одной стенки, а еще лучше — находились в одной плоскости. Базовую плоскость необходимо располагать в центре литой детали. Тогда размеры от базы до самой удаленной поверхности литой детали, а следовательно, и допуски на эти размеры будут наименьшими.

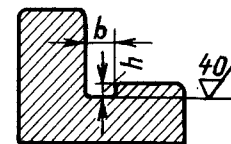


Рис. 1.28. Заплечики на отливках для выхода режущего инструмента

Таблица 1.3

Припуски, мм, на механическую обработку

Наибольшие габаритные размеры отливки, мм	Номинальный размер отливки до базы, мм						
	До 30	30—80	80—120	120—250	250—400	400—500	500—800
До 30	0,7	—	—	—	—	—	—
30—80	0,8	0,9	—	—	—	—	—
80—120	0,9	1,2	1,3	—	—	—	—
120—250	1,1	1,3	1,4	1,5	—	—	—
250—400	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	—	—
400—500	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	—
500—800	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5

Примечание. Для отливок, выполняемых с повышенной точностью, припуски на механическую обработку назначают на 10—15 % меньше, а с пониженной — на 10—15 % больше указанных.

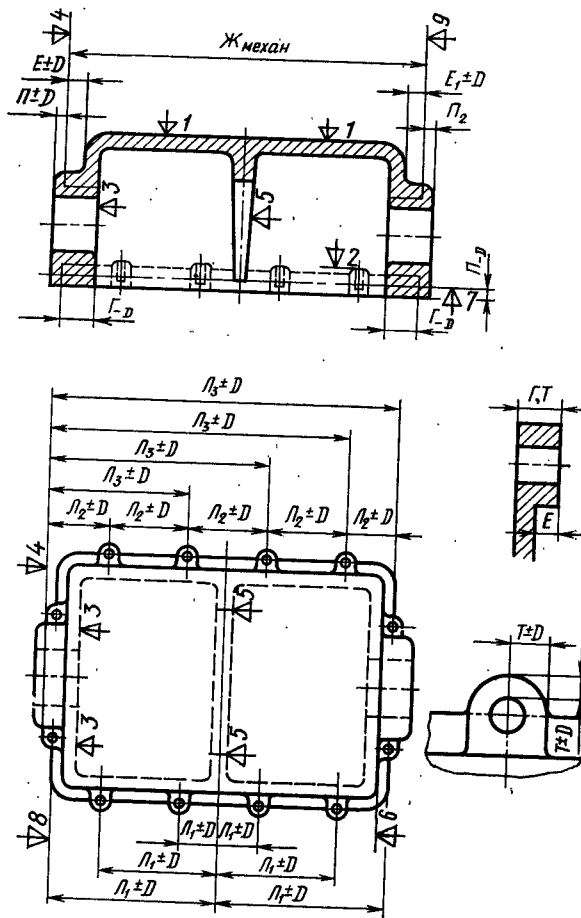


Рис. 1.29. Чертеж литой детали:

$J_{\text{механ}}$ — размер с допуском механически обработанной детали

Если допуски на размеры какой либо части литой детали по конструктивным или технологическим соображениям должны быть минимальными, то базовую плоскость следует помещать в этой части детали.

При отсутствии в детали плоскости, удовлетворяющей приведенным выше условиям для выбора базы, рекомендуется делать специальные технологические приливы и поверхности их принимать за базы. Размеры между литой и механически обрабатываемой поверхностями рекомендуется проставлять, как правило, только в тех случаях, когда обе поверхности являются базовыми; размеры до литой небазовой поверхности следует проставлять только от базовой литой поверхности. При простановке размеров цепочкой замыкающий размер (толщина выступа, фланца, стенки) может иметь значительные колебания, вызывающие брак деталей или необходимость дополнительной механической обработки и дополнительного припуска.

Размеры на чертежах литой детали должны правильно предопределять базовые плоскости и соответствовать технологическим процессам отливки и механической обработки.

На рис. 1.29 приведен чертеж литой детали, у которой литейные базовые плоскости находятся на минимальных расстояниях от базовых плоскостей для механической обработки (базовые поверхности 2, 3). Все основные размеры, подлежащие проверке в отливке, проставляют от одной базовой поверхности 4, являющейся базой для механической обработки и для контроля отливки (размеры L_3). Проставлять эти размеры цепочкой (как L_2) не допускается. Для уменьшения допусков на размеры E , G , T и для стенок, обрабатываемых с одной стороны, необходимо применять базу 5. Размеры, подлежащие проверке, проставляют как размеры L_1 .

Припуск на механическую обработку определяют расчетным путем. Он состоит из двух величин: минимально допустимого припуска Π и допуска на размер отливки D от базы механической обработки до обрабатываемой поверхности. Минимальный припуск Π на механическую обработку, необходимый при расчете числа переходов, режимов резания и других параметров, устанавливает технолог-механик.

Припуск, который надо выполнить на модели, состоит из минимального припуска с добавлением к нему минусовой части допуска на размер от базы механической обработки до обрабатываемой поверхности. Кроме того, нужно учитывать формовочные уклоны (см. рис. 1.28).

Средние значения припусков на механическую обработку отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям, приведены в табл. 1.3.

СПЛАВЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

2.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ЛИТЕЙНОГО СПЛАВА

Отливки по выплавляемым моделям изготавливают практически из всех литейных сплавов: углеродистых и легированных сталей, коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов, чугуна, цветных сплавов, например алюминиевых, медных, титановых и др.

При проектировании литых деталей учитывают условия их работы, в связи с чем некоторые свойства металла отливок приобретают первостепенное значение. Показатели их регламентируют, в то время как другие свойства считают менее важными. Например, литой корпус тормозного цилиндра должен быть герметичным, поэтому необходимо выбрать для него сталь, не склонную к образованию рассредоточенных усадочных рыхлот и пористости. Рабочие литейные лопатки газотурбинных двигателей в первую очередь должны обладать высокой жаропрочностью, удовлетворительной окислостойкостью при рабочих температурах и напряжениях, иметь возможно меньший коэффициент линейного расширения. Из равных по этим главным свойствам сплавов предпочтение должно быть отдано сплаву с меньшей объемной массой, меньшим содержанием дорогих и дефицитных компонентов.

При выборе литейного сплава необходимо четко сформулировать требования к материалу отливок, сгруппировать эти требования по их значимости с учетом назначения и условий службы деталей. Исходя из требований, определяют основу сплава, например железо, никель, алюминий. Далее уточняют марку сплава, свойства которого наиболее близки к требуемым, причем учитывают технологичность этого сплава в специфических условиях изготовления отливок по выплавляемым моделям.

Для окончательного решения целесообразно отлить пробные детали и образцы для проверки всех положительных и вредных для качества отливки свойств выбранного сплава. По результатам исследования пробных отливок и образцов определить правильность выбора сплава.

Ниже приведены краткие характеристики сплавов, наиболее широко используемых при изготовлении отливок по выплавляемым моделям.

2.2. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Углеродистые литейные стали разделяют на конструкционные и инструментальные. К конструкционным сталям относят низкоуглеродистые с содержанием до 0,25 % С и среднеуглеродистые с содержа-

Таблица 2.1

Химический состав и свойства некоторых углеродистых конструкционных литейных сталей

Сталь	Состав, % (Fe — основа)		Механические свойства (после нормализации), не менее					$t_{\text{зал}}, ^\circ\text{C}$
	С	Mn	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	a_K	
			МПа		%		МДж/м ²	
15Л	0,12—0,2	0,3—0,9	400	200	24	35	0,5	1560—1630
20Л	0,17—0,25	0,35—0,9	420	220	22	35	0,5	1560—1630
25Л	0,22—0,3	0,35—0,9	450	240	19	30	0,4	1500—1580
45Л	0,42—0,5	0,4—0,9	550	320	12	20	0,3	1460—1560
55Л	0,52—0,6	0,4—0,9	600	350	10	18	0,25	1460—1560

Примечания. 1. В сталях всех указанных марок должно быть 0,2—0,52 % Si.
2. Для отливок из конструкционной углеродистой стали в соответствии со стандартом максимально допустимое содержание примесей серы и фосфора устанавливается с учетом назначения отливки и метода плавки стали. Для отливок общего назначения допускается содержание 0,06 % S и 0,08 % P, тогда как для отливок особо ответственного назначения содержание каждого элемента должно быть $\leq 0,05$ %. В ТУ отдельных заводов для высоконагруженных деталей содержание S и P ограничено 0,02—0,03 %.
3. В сталях всех марок содержание Cr, Ni и Cu должно быть $\leq 0,3$ %.

нием 0,26—0,60 % С. К инструментальным сталям относят высокоуглеродистые с содержанием 0,60—1,3 % С.

В табл. 2.1 приведены химический состав и характеристики свойств наиболее часто используемых углеродистых конструкционных литейных сталей. С повышением содержания углерода в стали увеличивается ее жидкотекучесть и уменьшается усадка, одновременно повышается прочность стали и снижается ее пластичность.

При литье по выплавляемым моделям наиболее часто применяют среднеуглеродистые стали 35Л—55Л, из которых можно получать сложные тонкостенные отливки, в том числе крупногабаритные. При необходимости обеспечить повышенную пластичность деталей в эксплуатационных условиях используют низкоуглеродистые стали 15Л и 25Л [79].

Химический состав инструментальных углеродистых сталей (% по массе) регламентирован ГОСТ 1435—74: в сталях У7, У8, У10 и У13 должно быть соответственно 0,65—0,74 % С; 0,75—0,84 % С; 0,95—1,04 % С; 1,25—1,35 % С, для У7 и У8 0,2—0,4 % Мп, для У10 и У13 0,15—0,35 % Мп; для всех марок 0,15—0,35 % Si. Остальных элементов, % не более: 0,2 % Cr, 0,25 % Ni, 0,25 % Cu, 0,035 % P, 0,03 % S.

Для литья слесарно-монтажного инструмента наиболее распространено применение сталей У7 и У8 с временным сопротивлением $\sigma_B = 700 \div 800$ МПа при относительном удлинении $\delta = 2$ %. При литье по выплавляемым моделям мерительного инструмента, требующего большей износостойкости, используют более твердые высокоуглеродистые стали У10—У13. Эти стали характеризуются высокими технологическими свойствами, прокаливаемостью и твердостью в закаленном состоянии (до HRC 65).

Таблица 2.2

Химический состав и свойства некоторых легированных конструкционных сталей

Сталь	Состав, % (Fe — основа)						
	C	Mn	Si	Cr	Другие элементы		
40ХЛ	0,35—0,45	0,4—0,9	0,2—0,4	0,8—1,1	≤0,3 Ni		
35ГЛ	0,3—0,4	1,2—1,6	0,2—0,4	≤0,3	≤0,3 Ni		
35ХГСЛ	0,3—0,4	1,0—1,3	0,6—0,8	0,6—0,9	≤0,3 Ni		
16ХГТЛ	0,13—0,18	1,0—1,3	0,17—0,37	1,5—1,8	≤0,5 Ni; ≤0,2 Mo 0,06—0,12 Ti		
27ХГСНЛ	0,2—0,3	0,9—1,2	0,5—0,8	0,7—1,0	1,4—1,8 Ni		
Сталь	Термообработка	Механические и технологические свойства					
		σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ	α _H , МДж/м ²	t _{зал} , °C
40ХЛ	Закалка с 850—860 °C Отпуск при 600—650 °C	500	650	12	25	0,4	1500—1580
35ГЛ	Нормализация при 880—900 °C Отпуск при 600—650 °C	300	550	12	20	0,3	1500—1580
	Закалка с 850—860 °C Отпуск при 600—650 °C	350	600	14	30	0,5	
35ХГСЛ	Нормализация при 870—890 °C Отпуск при 570—600 °C	350	600	14	25	0,3	1500—1580
	Закалка с 870—880 °C Отпуск при 630—670 °C	600	800	10	20	0,4	
16ХГТЛ	Закалка с 890—910 °C Отпуск при 160—170 °C	600	900	6	30	0,3	1520—1620
27ХГСНЛ	Закалка с 870—890 °C Отпуск при 210—230 °C	1200	1500	5	12	0,16	1520—1600

Примечание. Содержание ≤0,04 % S и P (каждого); примесь ≤0,3 % Cu.

2.3. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Легированные стали помимо постоянно присутствующих примесей (Si, Mn, P и S) содержат один или несколько специально введенных легирующих элементов, например Cr, Ni, W, Ti, Al, Mo. Легирующие элементы вводят для придания стали специальных свойств: механических, физико-химических и др. Хром повышает прочность, износостойкость, жаростойкость и химическую стойкость; вольфрам увеличивает твердость и жаропрочность; никель увеличивает вязкость и жаропрочность стали. При введении в сталь нескольких легирующих элементов происходит сложное легирование. При этом свойства стали изменяются также от взаимодействия легирующих элементов между собой.

Литейные стали легируют также для создания условий, способствующих получению здоровой отливки (плотной, без трещин, раковин и других дефектов). В этом случае стали легируют элементами, могущими быть модификаторами; последние вводят в сталь в небольшом количестве (до 0,2 %).

В зависимости от назначения легированные стали разделяют на конструкционные, инструментальные и особого назначения.

Конструкционные стали обладают высокой прочностью и пластичностью, хорошей жидкотекучестью и свариваемостью, свободная линейная усадка ~2 % [41]. Они предназначены для изготовления различных деталей машин, приборов и других конструкций (табл. 2.2).

Таблица 2.3

Химический состав и твердость некоторых литых легированных и быстрорежущих инструментальных сталей

Сталь	Состав, % (Fe — основа)					НВ после отжига
	C	Mn	Si	Cr	Другие элементы	
ХВГ	0,9—1,05	0,8—1,1	0,15—0,35	0,9—1,2	1,2—1,6 W; ≤0,35 Ni	255—207
9ХВГ	0,85—0,95	0,9—1,2	0,15—0,35	0,5—0,8	0,5—0,8 W; ≤0,35 Ni	241—197
9ХС	0,85—0,95	0,3—0,6	1,2—1,6	0,95—1,25	≤0,35 Ni	241—197
Х	0,95—1,1	0,15—0,4	0,15—0,35	1,3—1,65	≤0,35 Ni	229—187
3Х2В8Ф	0,3—0,4	0,15—0,4	0,15—0,4	2,2—2,7	7,5—8,5 W; 0,2—0,5 V	255—207
P18	0,7—0,8	≤0,4	≤0,4	3,8—4,4	17,5—18,5 W; 1—1,4 V ≤0,3 Mo; ≤0,4 Ni	255—205
P18K5Ф2	0,85—0,95	≤0,4	≤0,4	3,8—4,4	17—18,5 W; 1,8—2,4 V 5—6 Co; ≤0,5 Mo	261—228
P9	0,85—0,95	≤0,4	≤0,4	3,8—4,4	8,5—10 W; 2,0—2,6 V ≤0,4 Ni	269

Примечание. S и P ≤0,03 % каждого.

Инструментальные стали обладают высокой твердостью и износостойкостью, предназначены для изготовления режущих и других инструментов [17]. При литье по выплавляемым моделям нашли наибольшее применение легированные инструментальные и быстрорежущие стали (табл. 2.3).

2.4. СТАЛИ И СПЛАВЫ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В связи с развитием производства газотурбинных двигателей, паровых турбин с высокими параметрами пара, различных электрических машин и химического машиностроения за последние годы все большее применение находят отливки по выплавляемым моделям из сталей и сплавов особого назначения (табл. 2.4, 2.5). К ним относят коррозионно-стойкие стали, жаростойкие, жаропрочные и износостойкие стали и сплавы, а также магнитные сплавы.

Коррозионно-стойкие (кислотостойкие) стали характеризуются высокой стойкостью к воздействию кислот и других реагентов. К ним относятся хромистые и хромоникелевые стали с относительно большим содержанием хрома и никеля. Коррозионная стойкость этих сталей тем выше, чем больше они содержат хрома и однороднее их структура. Присадка небольшого количества титана, молибдена, меди повышает коррозионную стойкость этих сталей.

Жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы характеризуются высокой химической стойкостью к окислению при высокой температуре [17]. Сопротивление окислению при высоких температурах зависит от химического состава сталей и сплавов, стойкости образующихся на их поверхности окисных пленок и состава газовой среды, в которой происходит окисление. Жаростойкие стали и сплавы близки по основным составляющим к коррозионно-стойким сталям, но содержат большее количество легирующих элементов и имеют более сложный фазовый состав. С увеличением содержания хрома повышается окалиностойкость сталей.

Стали, содержащие 10—13 % Cr, имеют хорошую жаростойкость до температуры 750 °С; содержащие 15—18 % Cr — до 900 °С; содержащие 22—25 % Cr — до 1100 °С. Присадка к хромистым и хромоникелевым сталям и сплавам алюминия, кремния и небольшого количества титана, ниобия, еще больше повышает жаростойкость.

Повышению жаростойкости способствует образование на поверхности металлов и сплавов тугоплавких, плотных окисных пленок в результате соединения хрома, никеля, алюминия, кремния с кислородом. Эти пленки плотно прикрывают поверхность сплава и препятствуют двусторонней диффузии атомов кислорода и металла (см. табл. 2.4).

Жаропрочные стали и сплавы (см. табл. 2.5) отличаются свойством противостоять пластической деформации под воздействием напряжений при высокой температуре [99].

На жаропрочность большое влияние оказывает природа твердого раствора основы сплава, ее температура плавления и тип кристаллической решетки. Чем выше температура плавления основы, тем выше жаропрочность сплава. Сплавы аустенитного типа на основе железа

Таблица 2.4

Химический состав и свойства некоторых высоколегированных сталей со специальными свойствами (ГОСТ 2176—77)

Сталь	Состав, % (Fe — основа)						Термо- обработка	Механические свойства, не менее					$t_{\text{зал}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Специальные свойства	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие элементы		σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	$\varepsilon_{\text{ж/ж/Т/Т}}^{\text{H}_D}$			
															МПа
15X13Л	$\leq 0,15$	0,2— 0,8	0,3— 0,8	12—14	$\leq 0,5$	—	Отжиг при 950 °C, закалка с 1050 °C (в воде), отпуск при 750 °C, охлажде- ние на воздухе	550	400	16	45	0,5	1630— 1650	Устойчи- вость к окислению на воздухе до 800 °C	
15X25ТЛ	0,1—0,2	0,5— 1,2	0,5— 0,8	23—27	$\leq 0,5$	0,4— 0,8 Ti	Без термо- обработки	450	280	—	—	—	1600— 1630	Кислото- стойкость, жаростой- кость до 1100 °C	
18X25Н19СЛ	$\leq 0,18$	0,8— 2	0,7— 1,5	22—26	17—21	$\leq 0,4 \text{ W};$ $\leq 0,2 \text{ Mo},$ $\leq 0,2 \text{ V},$ каж- дого	Закалка с 1080— 1100 °C, охлажде- ние на воздухе, в масле, в воде	500	250	25	28	—	1600— 1630	Коррозион- ная стой- кость, жаростой- кость до 1100 °C	

Продолжение табл. 2.4

Продолжение табл. 2.

Сталь	Состав, % (Fe — основа)						Термо- обработка	Механические свойства, не менее					$t_{\text{зат.}}$, °C	Специальные свойства	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие элементы		$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$		δ	ψ			$\sigma_{\text{н.м.}}$
									МПа						
									%						
10X18H11БЛ	$\leq 0,1$	0,2— 1	1—2	17—20	8—12	0,45— 0,9 Nb	Закалка с 1100— 1150 °C, охлажде- ние в воде	450	200	25	35	0,6	1600— 1630	Коррозон- ная стой- кость, жа- ропрочность при 800 °C	
09X17H3СЛ	0,05— 0,12	0,8— 1,5	0,3— 0,8	15—18	2,8— 3,8	—	Отжиг при 660—700 °C. Закалка с 1050 °C в мас- ле, отпуск при 300—350 °C, охлаждение на воздухе	1000	750	8	15	0,2	1580— 1620	Коррозон- ная стой- кость на воздухе до 500 °C	
08X14H7МЛ	$\leq 0,08$	0,2— 0,75	0,3— 0,9	13—15	6— 8,5	0,5— 1 Mo	Закалка с 1100 °C, охлажде- ние на воздухе, обработка холодом при —50°—70 °C, отпуск при 250—300 °C на воздухе	1000	700	10	25	0,3	1530— 1580	Коррозон- ная стой- кость, хла- достойкость до —196 °C	

Продолжение таблицы 2.4

Сталь	Состав, % (Fe — основа)						Термо- обработка	Механические свойства, не менее					$t_{\text{зат.}}$, °C	Специальные свойства
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие элементы		$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ			
											МПа	%		
12X18H9TЛ	$\leq 0,12$	0,2— 1	1—2	17—20	8—11	$\leq 0,8$ Ti	Закалка с 1100 °C в воду	450	200	25	32	0,6	1630— 1660	Кисло- стойкость. Стойкость к газовой и межкристал- лической коррозии
16X18H12C4TЮЛ	0,13— 0,19	3,8— 4,5	0,5— 1	17—19	11—13	0,4— 0,7 Ti; 0,13— 0,35 Al	Закалка с 1150— 1200 °C в воду	500	250	15	30	0,28	1540— 1600	Коррозион- ная стой- кость в аг- рессивных средах, в частности в концен- трирован- ной азотной кислоте при темпера- туре 105 °C

Примечания. 1. Во всех указанных сталях допускается содержание до 0,3 % Cu.

2. В стали 15X13Л должно быть $\leq 0,025$ % S и 0,03 % P, в сталях 08X14H7МЛ и 16X18H12C4ТЮЛ должно быть $\leq 0,3$ % N и P каждого.

3. У сталей указанных марок свободная линейная усадка 1,7—2,5 %, удовлетворительные жидкотекучесть, свариваемость, хорошая обрабатываемость резанием.

Химический состав, физико-механические и технологические свойства некоторых

Сплав	Состав, %							Термо- обра- ботка
	Fe	Ni	C	Cr	Si	Mn	Другие элементы	
20Х25Н19С2Л	Основа	18—20	≤0,2	23—27	2—3	0,5— 1,5	≤0,30 Cu; ≤0,03 S; ≤0,035 P	Закалка с 1100 °С, охлажде- ние в воде
40Х9С2Л	Основа	≤0,5	0,35—0,5	8—10	2—3	0,3— 0,7	≤0,3 Cu; ≤0,03 S; ≤0,035 P	Без тер- мообра- ботки
20Х21Н46В8Л	Осталь- ное	43—48	0,1—0,25	19—22	0,2— 0,8	0,3— 0,8	7—9 W; ≤0,3 Cu; ≤0,035 S; ≤0,04 P 0,06 В, (по рас- чету)	Старение при 900 °С, выдерж- ка 5 ч, охлажде- ние на воздухе
ЖСЗ-ДК	≤2	Осталь- ное	0,07— 0,12	11—14	≤0,4	≤0,4	2,8 Ti; 4,5 Al; 4,5 Mo; 4,5 W; 8 Co; 0,02 В, 0,02 Се (по рас- чету)	Закалка с 1215 °С, выдерж- ка 4 ч, охлажде- ние на воздухе
ЖС6-К	≤2	Осталь- ное	0,13—0,2	9,5— 12	0,4	0,4	3 Ti; 5 Al; 4 Mo; 5 W; 5 Co; 0,02 В; 0,015 Се (по рас- чету)	Закалка с 1220 °С, выдерж- ка 4 ч, охлажде- ние на воздухе
АНВ300	≤2	Осталь- ное	<0,1	14—17	≤0,5	≤0,5	1,4—2 Ti, 7,0—10 W, 4,5—5,5 Al	Закалка с 1120 °С, выдерж- ка 10 ч, охлажде- ние на воздухе

жаропрочных литейных сталей и сплавов

Механические свойства, не менее							$t_{\text{зал}}, ^\circ\text{C}$	Линейная свободная усадка, %	Специальные свойства, назначение
t испытаний, $^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	σ_{100}	δ	ψ	$a_{\text{н}}$, МДж/м ²			
	МПа			%					
20	500	250	—	25	28	—	1600—1620	2,5	Жаростойкость до 1100 $^\circ\text{C}$. Сопловые лопатки ГТД
Не нормируются							1560—1600	2,3	Жаростойкость до 800 $^\circ\text{C}$. Жаропрочность до 700 $^\circ\text{C}$. Сопловые венцы турбокомпрессоров
20	450	—	—	6	8	—	1600—1620	2,4	Жаростойкость до 1000 $^\circ\text{C}$. Жаропрочность до 800 $^\circ\text{C}$. Детали двигателей и газовых турбин (рабочие и сопловые лопатки и др.)
20	900	800	—	5	8	0,3	1560—1620 (в вакууме)	2,3	Жаростойкость до 1100 $^\circ\text{C}$, жаропрочность до 1000 $^\circ\text{C}$. Рабочие турбинные колеса ГТД
900	700	500	290	6	8	—			
20	900	830	—	1,7	6	0,1	1580—1650 (в вакууме)	2,3	Жаростойкость до 1100 $^\circ\text{C}$. Жаропрочность до 1000 $^\circ\text{C}$. Рабочие сопловые лопатки и колеса ГТД
900	800	500	320	5	8	—			
20	950	—	240	1	3	—	1540—1600 (в вакууме)	2,3	Жаростойкость до 1000 $^\circ\text{C}$. Жаропрочность до 950 $^\circ\text{C}$. Рабочие и сопловые лопатки ГТД небольшой мощности
850	700	—	—	1,8	1,5	—			

≤0,015 % Р.
8050—8300 кг/м³.

Примечания. 1. В сплавах АНВ300У, ЖС6-К, ЖСЗ-ДК содержится: ≤0,010 % S;
2. Для всех приведенных сталей плотность 7600—7950 кг/м³. Для сплавов плотность

с гранцентрированной решеткой имеют большую жаропрочность, чем сплавы ферритного типа с объемноцентрированной решеткой.

Повышению жаропрочных и других свойств сталей и сплавов способствует также легирование. Наибольший эффект достигается при одновременном легировании многими элементами. Введение таких элементов, как алюминий, титан, вольфрам, молибден, ниобий, бор, сильно увеличивает сопротивление сплавов пластической деформации при высоких температурах вследствие образования высокодисперсных интерметаллидных фаз и блокировки плоскостей скольжения при выделении этих фаз из твердого раствора. Кроме того, присутствие этих элементов в твердом растворе задерживает диффузионные процессы, и сплав при высоких температурах не разупрочняется.

При введении большого количества легирующих элементов в сплавы наряду с повышением их жаропрочности снижается пластичность и ухудшается их ковкость. Поэтому наиболее жаропрочны литые сложнолегированные сплавы с гетерогенной структурой. Так как такие сплавы имеют высокую твердость, вязкость и трудно обрабатываются, применение литья по выплавляемым моделям является более целесообразным методом для изготовления деталей сложной формы, например лопаток турбин и соплового венца, крыльчаток, рабочих колес и лопаток турбокомпрессоров.

Свойства жаропрочных сплавов зависят от чистоты шихтовых материалов, применяемых при плавке, и методов рафинирования. Сера из шихты, при повышенном ее содержании, вступая в соединение с никелем, образует легкоплавкую эвтектику (температура плавления 645 °С), которая располагается по границам зерен, в результате чего снижается жаропрочность сплава. Еще в большей степени снижаются жаропрочные свойства сплавов при загрязнении их легкоплавкими примесями (висмут, свинец, сурьма и др.), попадающими из шихты. Поэтому шихту тщательно проверяют, а расплав в процессе плавки рафинируют [36, 87].

Жаропрочность крупнозернистых сталей и сплавов более высокая, чем мелкозернистых. Для литых деталей из жаропрочных сплавов характерна крупнозернистость.

Сплавы принято считать жаростойкими, если при данной температуре за 100 ч испытаний в воздушной среде увеличение массы образцов вследствие образования окалины не превышает 1 г/см² в 1 ч. Сплавы считают жаропрочными, если при данной температуре за заданный срок испытаний они сохраняют требуемый уровень прочности. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы большей частью обладают также термостойкостью, т. е. стойкостью к воздействию нагрузки в условиях частой смены температур (нагрев — охлаждение).

Магнитными называют сплавы, обладающие магнитными свойствами: магнитной проницаемостью и восприимчивостью, остаточной индукцией и коэрцитивной силой. Магнитная проницаемость характеризует свойство сплава пропускать магнитный поток. Магнитная восприимчивость характеризует способность сплава к намагничи-

Таблица 2.6

Химический состав некоторых литейных магнитных сплавов (ГОСТ 17809—72)

Сплав	Состав (основные компоненты), % (Fe — остальное)				
	Al	Ni	Cu	Co	Другие элементы
ЮНД4	13—14	24—25	3—4	—	0,2—0,3 Ti
ЮНТС	13—16	32—35	—	—	1—1,5 Si, 0,4—0,5 Ti
ЮНДК15	8,5—9,5	19—20	3—4	14—15	0,2—0,3 Ti
ЮНДК18	9—10	18—19	3—4	18—19	—
ЮН14ДК24	7,5—8,5	13,5—14,5	2,5—3,5	23,5—24,5	—
ЮНДК31ТЗБА	6,8—7,2	13—13,5	3—3,5	30,5—31,5	3—3,5 Ti 0,9—1,5 Nb
ЮНДК40Т8АА	7,2—7,7	14—14,5	3—4	39—40	7—8 Ti

Примечание. В обозначении марок сплавов буквы в конце марки означают: А — столбчатая кристаллическая структура; АА — монокристаллическая структура.

ванию. Остаточная индукция характеризует степень остаточной намагниченности сплава после снятия магнитного поля. Коэрцитивная сила представляет собой значение напряженности магнитного поля, необходимого для того, чтобы свести к нулю остаточную намагниченность в магнитных сплавах. Химический состав магнитных сплавов, применяемых при литье по выплавляемым моделям, приведен в табл. 2.6.

2.5. ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ

К цветным относят сплавы, в основу которых входят алюминий, медь, магний, титан и другие цветные металлы. В производстве литья по выплавляемым моделям применяют главным образом алюминиевые, титановые и медные сплавы.

Основные промышленные алюминиевые сплавы для фасонного литья в соответствии с ГОСТ 2685—75 по химическому составу разделяются на пять групп на основе систем: алюминий—кремний, алюминий—кремний—медь, алюминий—медь, алюминий—магний и алюминий—прочие компоненты.

В табл. 2.7 приведены химический состав, физические, технологические и механические свойства некоторых алюминиевых сплавов, применяемых для литья по выплавляемым моделям, а также сравнительные данные механических свойств сплавов АЛ12, АЛ17 и АЛ19 при заливке в холодные и горячие формы.

Основные промышленные медные сплавы для фасонных отливок по химическому составу разделяют на три группы: бронзы оловянные и безоловянные, к которым относятся бронзы алюминиевые, марганцовистые и кремнистые (табл. 2.8), медно-цинковые сплавы или латуни (табл. 2.9).

В табл. 2.10 приведены химический состав и механические свойства некоторых магниевых сплавов, а в табл. 2.11 — титановых сплавов, применяемых для литья по выплавляемым моделям.

Таблица 2.7

Химический состав, физические, механические и технологические свойства некото

Сплав	Состав, % (Al — основа)						Механические свойства по выплавленным			
	Mg	Si	Cu	Mn	Fe, не более	Другие элементы, не более	σ_B , МПа	δ , %	НВ	Вид термообработки
АЛ2	≤0,1	10—13	≤0,6	≤0,5	0,7	0,1 Ti, 0,3 Zn, Σ 2,1	150 140	4 4	50 50	(М) Т2(М)
АЛ3	0,35—0,6	4,5—5,5	1,5—3	0,6—0,9	0,6	0,05 Pb, 0,5 (Zr + Ce)	140 170 220	0,5 — 0,5	65 70 75	— Т1 Т5
АЛ4	0,17—0,3	8—10,5	≤0,3	0,2—0,5	0,6	0,05 Pb, 0,1 Be, Σ 1,1	150 230	2 3	50 70	— Т6(М)
АЛ5	0,35—0,6	4,5—5,5	1—1,5	≤0,5	0,6	Σ 1,0	160 200 230	0,5 0,5 0,5	65 70 70	Т1 Т5 Т6
АЛ7	≤0,03	≤1,2	4—5	≤0,1	1	0,01 Pb; 0,2 Ti; 0,1 Zr Σ 2,1	200 220	6 3	60 70	Т4 Т5
АЛ9	0,2—0,4	6—8	≤0,2	≤0,5	0,6	0,05 Pb; 0,1 Be; Σ 1,1	180 200 230	4 2 1	50 60 70	Т4 Т5(М) Т6(М)

Примечания. 1. Примеси во всех сплавах не более 0,3 % Zn, 0,01 % Sn.
2. В сплавы АЛ4, АЛ5 и АЛ9 для измельчения зерна могут быть введены Ti или Ti +
3. Виды термообработки: Т1 — искусственное старение, Т2 — отжиг, Т4 — закалка, Т5 — искусственное старение. Буква М означает, что сплав модифицирован.

торых литейных алюминиевых сплавов (по ГОСТ 2685—75)

при литье моделям	Физические свойства				Технологические свойства			Примерное назначение
	При различных температурах формы во время заливки	ρ , кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная электропроводность, % к меди	Температурный интервал кристаллизации, °С	$t_{зал}$, °С	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть при 730 °С, мм
100 °С, σ_B = 185 МПа, δ = 10 % 200 °С, σ_B = 115 МПа, δ = 10 %	2640	176,4	40	600—575	690—760	1	840	Тонкостенные детали с повышенной герметичностью
—	2700	151,2	31	623—577	720—750	1,1	520	Детали приборов
—	2650	158,6	37	600—575	700—760	1,0	825	Нагруженные детали
—	2680	151,2	36	629—577	700—750	1,2	780	Детали, работающие при температуре до 250 °С
200 °С, σ_B = 315 МПа, δ = 1,5 % 300 °С, σ_B = 290 МПа, δ = 4,0 %	2800	138,6	35	630—540	700—750	1,4	350	Детали, требующие хорошей обрабатываемости
100 °С, σ_B = 214 МПа, δ = 10 % 200 °С, σ_B = 212 МПа, δ = 9,7 %	2660	151,2	36	610—575	690—740	1,1	800	Мелкие нагруженные детали

+ Cr ≤ 0,15 %.

Т5 — закалка и кратковременное (неполюное) искусственное старение, Т6 — закалка и пол-

Химический состав, физико-механические и технологические свойства некоторых

Бронза	Состав, % (Cu — основа)								
	Sn	Zn	Ni	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Другие элементы, не более
Бр03Ц7С5Н1	2,5—4	6—9,5	0,5—2	3—6	≤0,02	≤0,4	—	≤0,02	0,05 Р
Бр03Ц12С5	2—3,5	8—15	—	3—6	≤0,02	≤0,4	—	≤0,02	0,05 Р
Бр05Ц5С5	4—6	4—6	—	4—6	≤0,05	≤0,4	—	≤0,05	0,10 Р
Бр06Ц6С3	5—7	5—7	—	2—4	≤0,05	≤0,4	—	≤0,02	0,05 Р 0,5 Sb
Бр04Ц7С5	3—4,5	6—9,5	—	3—6	≤0,05	≤0,4	—	≤0,05	0,1 Р
БрА10Мц2Л	≤0,2	≤1,5	≤1	≤0,1	9,6—11	≤1	1,5—2,5	≤0,2	0,05 As; 0,05 Sb; 0,1 Р; Σ 2,8
БрА9Ж3Л	≤0,2	≤1	≤1	≤0,1	8—10,5	2—4	≤0,5	≤0,2	0,05 Sb; 0,1 Р; Σ 2,7
БрА10Ж3Мц2	≤0,1	≤0,5	≤0,5	≤0,3	9—11	2—4	1—3	≤0,10	0,01 As; 0,05 Sb; 0,01 Р; Σ 1,0
БрА10Ж4Н4Л	≤0,2	≤0,5	3,5—5,5	≤0,05	9,5—11	3,5—5,5	≤0,5	≤0,2	0,05 As; 0,05 Sb; 0,1 Р; Σ 1,5

Примечание. В оловянных бронзах допустимо содержание ≤0,5 % Sb. Общее

Таблица 2.8
оловянных (по ГОСТ 613—79) и безоловянных (по ГОСТ 493—79) бронз

Физико-механические и технологические свойства											Примерное назначение
σ_B , МПа	δ , %	НВ	Коэффи- циент трения со смазоч- ным мате- риалом (без сма- зочного материала)	ρ , кг/м³	Теплопровод- ность, Вт/(м·К)	Коррозион- ная стой- кость (по- теря массы) г/(м²·ч)		Линейная усад- ка, %	Жидкотекуче- сть, см		
						Мор- ская вода	Пар				
180	8	60	—	—	—	—	—	—	—	Детали, ра- ботающие в морской и пресной воде, в среде пара	
180	8	60	—	—	—	—	—	—	—	Детали ар- матуры, ра- ботающие в пресной воде и среде пара	
150	6	60	0,012 (0,20)	8800	84	Хорошая коррозион- ная стой- кость в ат- мосфере и пресной воде		1,5	—	Антифрик- ционные детали	
150	6	60	0,009 (0,016)	8800	92,4	0,67	—	1,6	40	То же	
150	6	60	—	—	—	—	—	—	—	То же	
490	12	110	0,006 (0,18)	—	—	—	—	—	—	Антифрик- ционные детали. Арматура, работающая в пресной воде, жидком топливе, в паре при температуре до 250 °С	
392	10	100	0,012 (0,18)	7500	56,8	0,01	0,06	2,5	85	Арматура. Антифрик- ционные детали	
332	10	100	0,012 (0,21)	7500	56,8	0,01	0,11	2,4	70	Арматура. Антифрик- ционные детали	
580	5	160	0,011 (0,23)	7900	56,8	0,0075	—	2,0	75	Детали химической и пищевой промышлен- ности, а также работающие при повы- шенных температурах	

содержание примесей ≤1,3 %.

Таблица 2.9

Химический состав, физико-механические и технологические свойства некоторых медно-цинковых сплавов (латуней) литейных (по ГОСТ 17711—80)

Сплав	Состав, % (Zn — остальное)							
	Cu	Si	Mn	Pb	Fe	Al	Sn	Примеси
ЛЦ16К4	78—81	3—4,5	≤0,8	≤0,5	≤0,6	≤0,04	≤0,3	Σ≤2,5
ЛЦ38Мц2С2	57—60	≤0,4	1,5—2,5	1,5—2,5	≤0,8	≤0,8	≤0,5	≤0,05 Р Σ≤2,2
ЛЦ40Мц3Ж	53—58	≤0,2	3—4	≤0,5	0,5—1,5	≤0,6	≤0,5	≤0,05 Р Σ≤1,7
ЛЦ40С	57—61	≤0,3	≤0,5	0,8—2	≤0,8	≤0,5	≤0,5	Σ≤2,0

Сплав	Механические свойства				Некоторые физические, химические и технологические свойства							Примерное назначение
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	Коэффициент трения со смазочным материалом (без смазочного материала)	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Коррозионная стойкость (потеря массы), г/(м ² ·ч)		ρ , кг/м ³	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть, см		
						Морская вода	10%-ный раствор H ₂ SO ₄					
ЛЦ16К4	294	15	100	0,01 (0,19)	42	0,19	0,20	8300	1,7	80	Детали судов, шестерни, арматура, подвергающиеся воздействию морской воды	
ЛЦ38Мц2С2	245	15	80	0,16 (0,24)	61,4	0,05	—	8500	1,8	22	Антифрикционные детали	
ЛЦ40Мц3Ж	441	18	90	0,036 (0,32)	51,2	0,047	0,36	8500	1,6	60	Арматура для судов, работающая при температуре до 300 °С	
ЛЦ40С	215	12	70	0,013 (0,17)	109,2	0,35	0,20	8500	2,2	51	Втулки для подшипников, арматура	

Примечание. 1. Допускается содержание ≤0,05 % Sb.
2. В сумму примесей Ni не входит, а идет в счет массы меди.

Таблица 2.10

Химический состав и механические свойства некоторых магниевых сплавов, применяемых в литье по выплавляемым моделям (ГОСТ 2856—79)

Сплав	Состав, % (Mg — основа)			Механические свойства			
	Zn	Zr	Другие элементы	Вид тер- мообра- ботки	σ _B	σ _{0,2}	δ при l = 5d, %, не менее
					МПа, не менее		
МЛ5пч	0,2—0,8	—	7,5—9 Al, 0,15—0,5 Mn	T2 T4 T6	150 230 230	— 85 —	2 5 2
МЛ8	5,5—6,6	0,7—1,1	0,2—0,8 Cd	T6 T61	270 280	170 180	4 4
МЛ9	—	0,4—1	0,2—0,8 In 1,9—2,6 Nd	T6	230	110	4
МЛ10	0,1—0,7	0,4—1	2,2—2,8 Nd	T6 T61	230 240	140 140	3 3
МЛ11	0,2—0,7	0,4—1	Σ РЗМ 2,5—4	T2 T4 T6	120 140 140	— 85 100	1,5 3 2
МЛ12	4—5	0,6—0,1	—	— T1	200 230	90 130	6 5
МЛ15	4—5	0,7—1,1	0,6—1,2 La	T1	206	127,5	3

Примечания. 1. В сплаве МЛ5пч примесей, %, не более: 0,08 Si; 0,007 Fe; 0,001 Ni; 0,04 Cu; по 0,002 В и Zr; 0,005 Ti; 0,0015 Be.
2. В остальных сплавах примесей, %, не более: 0,02 Al; 0,03 Si; 0,01 Fe; 0,005 Ni; 0,03 Cu; 0,001 В.
3. Виды термообработки: T1 — старение, T2 — отжиг, T4 — гомогенизация и закалка на воздухе, T6 — гомогенизация, закалка на воздухе и старение, T61 — гомогенизация, закалка в воду и старение.

Таблица 2.11

Химический состав и механические свойства некоторых литейных титановых сплавов

Сплав	Средний состав, % по массе (Ti — основа)					Механические свойства, не менее				
	Al	Mo	Zr	Si	Другие элементы	σ _B	σ _{0,2}	δ	ψ	a _H , МДж/м ²
						МПа		%		
ВТ3 1Л	6,0	2,5	—	0,3	2,0 Cr	980	830	5	8	0,25
ВТ5Л	5,0	—	—	—	—	700	630	6	14	0,30
ВТ9Л	6,3	3,3	1,4	0,3	—	950	830	4	8	0,20

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ

Литниково-питающая система (ЛПС) служит для обеспечения заполнения литейной формы металлом с оптимальной скоростью, исключая образование в отливке недоливов и неметаллических включений, и компенсации объемной усадки в период затвердевания отливки с получением в ней металла заданной плотности. ЛПС должна также удовлетворять требованиям технологичности при изготовлении моделей, форм и отливок. При этом необходимо стремиться к созданию по возможности компактных ЛПС. Излишнее их развитие ведет к перерасходу металла, завышению затрат труда, низкой эффективности использования оборудования и площадей.

Конкретная литая деталь представляет собой оригинальную конструкцию, что приводит к необходимости создания самостоятельной ЛПС для каждой отливки. Вместе с тем литые детали имеют много общего в размерах стенок, узлов, их сочленений, благодаря чему открываются возможности для типизации конструкций ЛПС и выработки общих методов их расчета.

Разработку ЛПС на конкретные машиностроительные и приборостроительные отливки целесообразно выполнять в четыре этапа: выбор типа системы, расчет элементов питания, расчет литниковых каналов, анализ систем.

3.1. ВЫБОР ТИПА ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

При выборе конструкции ЛПС необходимо стремиться к соблюдению следующих принципиальных положений, направленных на получение годных отливок и на экономичность их производства:

1) обеспечивать принцип направленного затвердевания, т. е. последовательного затвердевания от наиболее тонких частей отливки через ее массивные узлы к прибыли, которая должна затвердевать последней;

2) наиболее протяженные стенки и тонкие кромки ориентировать в форме вертикально, т. е. наиболее благоприятно для их спокойного и надежного заполнения;

3) создавать условия для экономичного и механизированного производства отливок, в том числе: унификацию типоразмеров ЛПС и их элементов с учетом эффективного использования оснастки, имеющегося технологического оборудования, печей; возможность применения модельных блоков и форм с металлическими каркасами;

удобство выполнения и минимальный объем механической обработки при отрезке отливок и последующем изготовлении из них деталей.

В конкретном производстве конструкции ЛПС необходимо выбирать на возможно более ранней стадии разработки технологии, лучше всего — при эскизном и рабочем проектировании изделия, когда требования к надежной работе ЛПС могут быть учтены в чертеже детали наиболее полно.

ЛПС при литье по выплавляемым моделям строят из известных традиционных элементов: литниковых воронок, стояков, зумпфов и литниковых ходов, прибылей и коллекторов. Благодаря характерной для литья по выплавляемым моделям неразъемной форме указанные конструктивные элементы удается расположить наиболее эффективно, максимально используя объем формы. ЛПС, применяемые в современном производстве отливок литьем по выплавляемым моделям, целесообразно разделить на восемь типов (табл. 3.1). Учитывая приоритет процесса питания над процессом заполнения, за основу деления ЛПС взят вид того элемента, от которого непосредственно осуществляется питание отливки. Типы ЛПС расположены в таблице по принципу перехода от центрального стояка как предельно коллективной прибыли до системы местных прибылей как предельно расчлененной прибыли.

Таблица 3.1

Типы ЛПС

Тип	Питающий элемент	Характеристика прибыли
I	Центральный стояк	Коллективная
II	Горизонтальный коллектор	
III	Вертикальный коллектор	
IV	Вертикальный коллектор, заполняемый снизу	
V	Боковая прибыль	Индивидуальная
VI	Верхняя прибыль	
VII	Местная прибыль и коллектор	Расчлененная
VIII	Система местных прибылей	

В табл. 3.2 дана ориентировочная применяемость типов ЛПС при литье по выплавляемым моделям в привязке их к характерным отливкам машиностроения. В каждом конкретном случае рекомендуется сначала по табл. 3.2 подобрать типы ЛПС, соответствующие рассматриваемой номенклатуре отливок, а затем уточнить их, используя приведенные ниже характеристики, в которых отражена вариантность внутри конструктивных типов. Следует намечать несколько типоразмеров ЛПС, что облегчит выбор оптимальной технологии при последующем анализе вариантов.

Далее рассмотрены типы ЛПС для общепринятого варианта литья по выплавляемым моделям в монолитные формы с заливкой и затвердеванием металла в поле гравитационных сил. При выборе типа ЛПС необходимо учитывать также сочетание литья по выплавляемым

Таблица 3.2

Применимость типов ЛПС

Типовая отливка	Типы ЛПС при ориентировочной массе единичной отливки, кг (по стали)		
	≤ 1	1—10	≥ 10
Гайка. Барашек	I, II	II, VI	VI
Рычаг. Ручка	I, II, III	II, VII	V, VII
Лопатка	II, IV, VII	VI, VII	VI
Магнит	I, IV		
Крышка. Сопловой аппарат	II, III	VI, VIII	VIII
Крыльчатка	II	IV, VI	V, VI, VII
Ротор	VI	VI, VIII	VI, VIII
Цилиндр. Патрубок	I, II	V, VI	V, VI, VIII
Корпус	I, II, III	II, VII, VIII	VIII

моделям с другими современными методами литья, носящими частный характер, например, обеспечивать плотность соединений при литье в сборные формы, под низким давлением (см. рис. 3.4) и центробежном (см. рис. 3.16).

Тип I. Центральный стояк. ЛПС этого типа представляет собой стояк компактного сечения, непосредственно к которому с разных сторон присоединяются небольшие отливки с одним-двумя индивидуальными питателями (рис. 3.1). Центральный стояк является одновременно и литниковым ходом, и коллективной прибылью, а питатели соответственно выполняют и роль шеек прибылей. Центральное расположение стояка обуславливает естественное замедление его охлаждения и способствует направленному затвердеванию периферийно расположенных отливок. Зумпф в нижней части стояка смягчает отрицательное действие механического и теплового ударов, имеющих место в начальный момент заливки.

Центральный стояк служит основой для создания комплексно-механизированного технологического процесса производства небольших отливок. Применение унифицированного металлического каркаса в качестве несущей конструкции обеспечивает удобство звеньевой сборки модельного блока и его высокую прочность при изготовлении оболочковой формы. Уже в отлитом блоке центральный стояк надежно

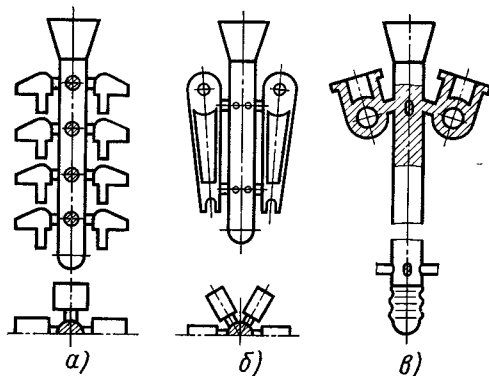


Рис. 3.1. Литниково-питающая система типа I (центральный стояк). Отливаемые детали:

а — компактная с одним тепловым узлом; б — протяженная с двумя тепловыми узлами; в — проушина амортизатора автомобиля

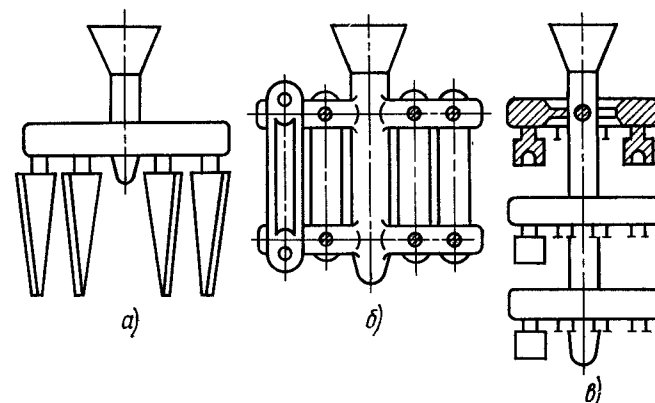


Рис. 3.2. Литниково-питающая система типа II (горизонтальный коллектор): а — лучевой одноярусный; б — лучевой двухъярусный; в — кольцевой трехъярусный

закрепляют в приспособлениях станков при очистке и отрезке отливок. Один из интервалов между отливками должен иметь ширину, достаточную для ввода режущего инструмента.

ЛПС типа I находят широкое применение в производстве отливок массой до 1 кг. В ГОСТ 19551—74—ГОСТ 19554—74 для отливок из углеродистой стали и медных сплавов указаны основные размеры центрального стояка круглого, шестиугольного, квадратного и треугольного сечений высотой до 400 мм. Диаметр стояков круглого сечения изменяется в пределах 25—56 мм, шестиугольного и квадратного — 28—50 мм, треугольного 32—50 мм.

Тип II. Горизонтальный коллектор. ЛПС этого типа представляет собой центральный стояк, на котором в один-два яруса и более расположены горизонтальные коллекторы, обычно в виде радиальных лучей, дисков и колец (рис. 3.2). Одноярусная ЛПС типа II имеет короткий стояк; ее применяют для протяженных отливок с одним тепловым узлом или для небольших, но компактных отливок. Двухъярусная ЛПС удобна для отливок, требующих подвода металла через два питателя. Многоярусная система типа II в ряде случаев позволяет разместить в форме большее число небольших отливок, чем система типа I, и при более высоком выходе годного. К преимуществам ЛПС типа II относится также удобство отрезки отливок дисковым инструментом. Для комплексной механизации преимуществ имеют те варианты ЛПС типа II, которые сконструированы на базе унифицированного центрального стояка, как бы приводящего ЛПС типа II к ЛПС типа I. В ГОСТ 19555—74 ÷ ГОСТ 19560—74; ГОСТ 19562—74 предусмотрены ЛПС типа II с горизонтальными коллекторами нескольких разновидностей: дисковыми, кольцевыми, радиальными прямоугольного сечения из двух, трех, четырех и пяти лучей, в виде двух параллельных брусков прямоугольного сечения.

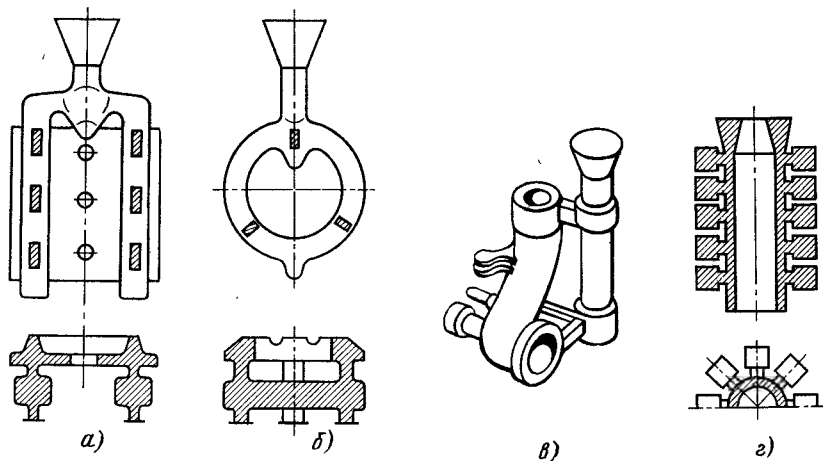


Рис. 3.3. Литниково-питающая система типа III (вертикальный коллектор): а — параллельные стояки; б — вертикально-замкнутый кольцевой коллектор; в — стояк с цилиндрическим коллектором для сложного патрубка; г — полный стояк

Тип III. Вертикальный коллектор. Обычно этот коллектор имеет вид системы заливаемых сверху параллельных стояков, единого вертикально-замкнутого коллектора или полого стояка (рис. 3.3). Параллельные стояки применяют при литье деталей типа плиты или коробки, отличающихся распределенными в плоскости узлами. Вертикально-замкнутый коллектор позволяет эффективно питать отливку типа кольца.

Представляет интерес вертикальный коллектор типа полого стояка. Полный стояк, имея развитую поверхность, позволяет разместить в форме в 2—4 раза больше небольших отливок, чем сплошной. Благодаря ограниченному теплоотводу в сторону полости формы, он отличается высокой питающей способностью в период затвердевания отливок.

В ГОСТ 19561—74, ГОСТ 19563—74, ГОСТ 19565—74 приведены основные размеры следующих вертикальных коллекторов: вертикальных кольцевых с внешним кольцом диаметром 100—200 мм, парных незамкнутых и замкнутых, двухпарных. Сечения вертикальных коллекторов прямоугольные, высотой до 250 мм.

В США при получении мелких отливок из сплавов на железной и никелевой основе находят применение «барабанные» ЛПС, являющиеся своеобразным вариантом полого стояка. Модель барабана выполнена в виде поворотного вокруг горизонтальной оси каркаса, который обтягивают специальной бумагой, с заранее отмеченными на ней местами присоединения питателей. Барабан может быть легко повернут в удобное для моделищицы положение. Слон оболочковой формы наносят на блок при медленном вращении барабана, частично погруженного в суспензию. Благодаря жесткой конструкции каркаса на нем выполняют сразу два блока, расположенные на одной

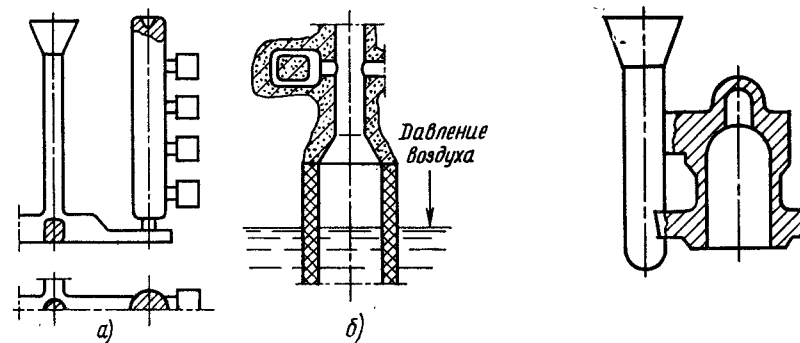


Рис. 3.4. Литниково-питающая система типа IV (сифонный коллектор):

а — заливка через стояк-распределитель; б — заливка на машине литья под низким давлением

Рис. 3.5. Литниково-питающая система типа V (боковая прибыль).

Пример применения: боковая прибыль для корпуса арматуры

оси. После воздушной сушки каркас и бумагу извлекают. В образовавшееся отверстие непосредственно перед заливкой с помощью пластичного огнеупора устанавливают цилиндрический оболочковый стержень с таким расчетом, чтобы кольцевой зазор между формой и стержнем мог вместить металл, необходимый для питания периферийно расположенных отливок. Благодаря большому числу отливок, расположенных на поверхности барабана, достигается высокий выход годного.

Тип IV. Вертикальный коллектор, заполняемый снизу. Обычно такой коллектор имеет вид обратного стояка круглого сечения. Применяют его при литье постоянных магнитов из пленообразующих сплавов типа ЮНДК, в том числе в сборные формы [101] и при литье под низким давлением (рис. 3.4).

Тип V. Боковая прибыль. Эта прибыль имеет вид массивного вертикального тела, напоминающего стояк, но отличающегося от него существенно большим поперечным сечением; допускается применение коллекторов в виде местных утолщений. Боковую прибыль используют преимущественно при изготовлении крупных и протяженных отливок, при вертикальной ориентации которых обеспечивается спокойное заполнение формы снизу вверх и сосредоточение в верхней части отливки наиболее горячих порций расплава. Боковая прибыль допускает применение модели с металлическим каркасом, благодаря чему создаются условия для экономии модельных материалов и механизации технологических операций при изготовлении оболочковых форм. На рис. 3.5 приведена характерная боковая прибыль, используемая при получении крупных и сложных тонкостенных отливок из сложнолегированных сталей.

Тип VI. Верхняя прибыль. Эта прибыль представляет собой массивный резервуар металла над главным тепловым узлом отливки, получаемой в одноместной форме. При наличии в отливке вторичных

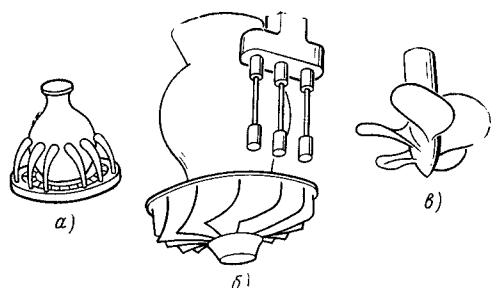


Рис. 3.6. Литниково-питающая система типа VI (верхняя прибыль). Примеры применения:

а — ротор с бандажом; б — рабочее колесо газотурбинного наддува дизеля; в — гребной винт

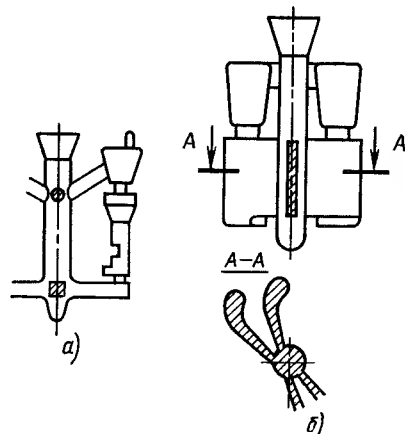


Рис. 3.7. Литниково-питающая система типа VII (местная прибыль над каждой отливкой и коллектор):

а — четырехместная при центральном расположении стояка; б — заливка лопаток через вертикальный щелевой питатель

узлов их питают от этой же прибыли через дополнительные отводы и шейки. Металл в прибыль заливают из ковша или непосредственно из тигля печи. Сосредоточение наиболее горячего расплава в верхней части прибыли приводит к созданию в форме наиболее благоприятного для питания отливки градиента температур. Отличаясь вследствие этого высокой питающей способностью, верхняя прибыль надежно обеспечивает получение плотного металла крупных высоконагруженных литых деталей. При использовании модели верхней прибыли с металлическим каркасом создаются условия для механизации работ по изготовлению форм. ГОСТ 19566—74 регламентируют основные размеры верхних прибылей для отливок из углеродистых сталей и медных сплавов массой более 0,5 кг. Высоту прибылей принимают в пределах 55—120 мм, диаметр 36—90 мм. Прибыли рекомендованы для производства отливок, питание которых невозможно обеспечить через коллектор.

Примеры сложных отливок с верхней прибылью представлены на рис. 3.6. При изготовлении цельнолитого ротора диаметром 280 мм из жаропрочного сплава применение центральной конусной прибыли со сферическим верхом и рожковыми отводами к бандажу обеспечило 100 %-ный выход годных отливок по плотности и механическим свойствам. При отливке рабочего колеса из хромоникелевой стали диаметром 240 мм, массой 7 кг от верхней прибыли, имеющей вид перевернутой груши, питаются также образцы для механических испытаний [69]. Заливка пятилопастного гребного винта диаметром 710 мм массой 170 кг из антикавитационной стали 30X10Г10 производится через цилиндрическую прибыль из чайникового ковша,

Тип VII. Местная прибыль и коллектор. От стояка с нижним горизонтальным коллектором осуществляется питание нижних узлов у вертикально ориентированных отливок и местных соединенных со стояком прибылей над верхним узлом каждой отливки (рис. 3.7). Эта комбинированная ЛПС обладает следующими преимуществами: происходит спокойное заполнение формы снизу, что особенно важно при литье из пленообразующих сплавов, и обеспечивается подвод горячего расплава в прибыль к концу заливки. При центральном расположении стояка создаются условия для размещения в форме нескольких надежно питаемых отливок, в том числе массой более 1 кг каждая, и облегчается применение моделей с металлическим каркасом.

В отдельных случаях хорошие результаты дает ЛПС типа VII в сочетании с подводом металла в тонкую кромку через вертикально-щелевой питатель. При таком подводе расплава (рис. 3.7, б) по сравнению с заливкой сифоном и сверху был обеспечен наивысший уровень плотности, прочности и пластичности металла в лопатках из жаропрочного сплава. Необходимо, однако, иметь в виду, что в случае применения сравнительно широких вертикально-щелевых питателей, подводимых к протяженной стенке, возможно поражение отливки поверхностными раковинами, особенно при литье из сложнелегированных сталей и сплавов.

Тип VIII. Система местных прибылей. Каждая прибыль в ЛПС этого типа питает отдельный узел или участок протяженного узла сравнительно крупной отливки, преимущественно корпусного типа. Заливают ее обычно через стояк с литниковыми ходами. Система местных прибылей при развитой в пространстве отливке позволяет наиболее эффективно использовать ЛПС путем приближения прибылей непосредственно к питаемым ими участкам, а также достаточно полно учесть взаимное обогревающее влияние элементов отливки и ЛПС.

Примеры крупных отливок из коррозионно-стойкой стали, отливаемых с ЛПС типа VIII, представлены на рис. 3.8. Тройник массой около 10 кг, отливаемый вертикально; питание осуществляется от трех прибылей: основной на верхнем фланце и двух дополнительных у нижних утолщений. Металл к прибылям подается от бокового стояка с горизонтальными ходами. Корпус массой 16 кг. Большая часть протяженной стенки расположена вертикально. Питание осуществляется от верхней прибыли и двух массивных боковых прибылей прямоугольного сечения. Заливают металл через боковой стояк с распределительными литниковыми ходами. Корпусная деталь, развитая по горизонтали и состоящая из массивного кольца диаметром 320 мм и кольцевой стенки толщиной 4,5 мм. При вертикальной ориентации тонкой стенки массивное кольцо расположено горизонтально; на нем установлены несколько местных прибылей, по которым металл распределяется от центрального стояка через наклонные коллекторы.

Холодильники и утеплители. Эффект направленного затвердевания, создаваемый ЛПС, может быть усилен путем

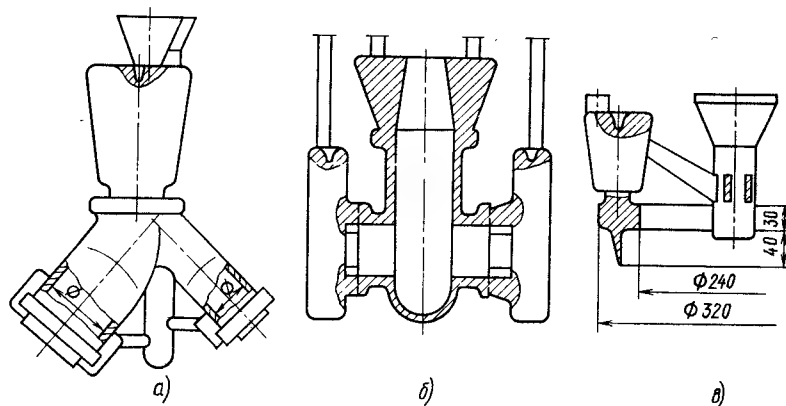


Рис. 3.8. Литниково-питающая система типа VIII (система местных прибылей). Примеры применения:

а — тройник; б — корпус вентилля; в — кольцевой корпус

введения в форму холодильников со стороны недостаточно питаемых узлов отливки, утепления и обогрева прибылей. Эти средства применяют при ЛПС типов V, VI, VIII.

Можно применять холодильники из той же стали, из которой изготовляют отливки. Толщину холодильника принимают равной 0,8—1,2 толщины теплового узла отливки. Контактную поверхность холодильника для улучшения теплоотдачи выполняют шероховатой. Холодильники, изготовленные из стали с высокой теплопроводностью, оказывают заметное захлаживающее действие и через оболочковую форму.

Утепление прибылей достигается путем уменьшения теплопроводности формы, например путем применения воздушного зазора (см. рис. 3.10) или порообразующих добавок; после каждого погружения в суспензию на блок наносят короткие ити; затем наматывают нить в виде плотной сетки. После обжига нити выгорают с образованием пористости. Применяют также обычные термитные смеси, насыпаемые на зеркало залитого в форму расплава. Термитные смеси требуют осторожного применения, так как загрязняют металл в прибылях, идущих затем на переплавку.

3.2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ

Усадочная раковина проявляется в виде концентрированной раковины, осевой рыхлости у протяженных элементов отливок, выходящего на поверхность глубокого свища в местах сочленения стенок, рассеянной пористости. Усадочная раковина снижает служебные свойства детали, особенно высоконагруженной или герметичной.

После выбора типа ЛПС, опираясь на принцип направленного затвердевания и закономерности процесса питания, можно обеспечить выведение усадочной раковины из тела отливки в прибыль.

Расчет последней должен быть выполнен с учетом замедленного затвердевания металла в форме, зависящего при литье по выплавляемым моделям от ее начальной температуры.

На производстве применяют приближенные методы расчета прибылей; отливку совместно с ЛПС рассматривают при этом как состоящую из конечного числа конструктивных элементов; стенок, брусев, компактных тел. Инженерная задача сводится к тому, чтобы, минуя исследование процесса образования усадочной раковины, принципиально оценить последовательность затвердевания конструктивных элементов, расположить их в соответствии с принципом направленного затвердевания и, в конечном итоге, вывести усадочную раковину из отливки в прибыль. В этом направлении проведены исследования, в результате которых разработаны методы оценки относительной продолжительности затвердевания конструктивных элементов отливки; нормативы в виде эмпирических коэффициентов, применение которых обеспечивает необходимое замедление затвердевания в направлении от торцовых участков к прибыли.

Ниже рассмотрены три наиболее известных при литье по выплавляемым моделям инженерных метода расчета прибылей. В основе методов лежат две математические модели относительной продолжительности затвердевания конструктивных элементов: «приведенных толщин» и «вписанных сфер», применимость которых при литье в однородные неметаллические формы, отличающиеся низким коэффициентом аккумуляции теплоты, в том числе нагретые, неоднократно подтверждена экспериментальными исследованиями и практикой производства.

Метод приведенных толщин. Для оценки относительной продолжительности затвердевания различных по форме тел Н. И. Хворинов ввел понятие приведенной толщины $R = V_0/S_0$, где V_0 — объем охлаждаемой отливки; S_0 — поверхность ее охлаждения. Используют также понятие приведенной толщины сечения $R = F/P$, где F — площадь сечения; P — периметр. Отношение F/P допустимо брать в случаях протяженных элементов, например стояков; коротких элементов типа шеек прибылей и питателей, у которых отсутствует отдача теплоты с торцовых сторон.

Приведенная толщина (в литературе называют также «модулем охлаждения», или «отношением V_0/S_0 ») приравнивают, в первом приближении, отливку типа бруса или компактного тела по относительной скорости охлаждения к плоской стенке соответствующей толщины. Разбивая сложную отливку и ЛПС на конструктивные элементы, которые так или иначе приближаются к пластине, брусу или компактному телу, и, пренебрегая взаимным обогревающим влиянием этих элементов в период затвердевания, с помощью метода приведенных толщин оценивают последовательность затвердевания элементов.

Для обеспечения направленного затвердевания необходимо соблюсти условие непрерывного увеличения приведенной толщины от удаленных тонкостенных участков отливки к прибыли.

$$R_{n-1} < R_n < R_{n+1}, \quad (3.1)$$

где R_n, R_{n-1}, R_{n+1} — приведенные толщины рассматриваемых участков соответственно n -го, прилегающих к n -му со стороны более тонкой части отливки и со стороны прибыли.

Формулы для расчета приведенной толщины различных конструктивных элементов даны в табл. 3.3. Степень необходимого увеличения приведенной толщины установлена экспериментально. Ниже даны соответствующие расчеты, в основу которых положены эмпирические формулы.

Таблица 3.3

Формулы для расчета приведенной толщины

Конструктивный элемент				Приведенная толщина	
Вид	Толщина	Ширина	Длина	элемента по формуле $R = V/S$	сечения элемента по формуле $R = F/P$
Пластина	a	—	—	$a/2$	$a/2$
Брус сечения: прямоугольного	a	b	l	$abl/[2(ab + bl + al)]$	$ab/[2(a + b)]$
квадратного	a	a	l	$al/[2(a + 2l)]$	$a/4$
цилиндрического	d	—	l	$dl/[2(d + 2l)]$	$d/4$
Сфера	d	—	—	$d/6$	—
Куб	a	a	a	$a/6$	—
Труба (свернутая пластина)	a	—	l	$al/[2(a + l)]$	$a/2$

Расчет ЛПС типов I—III, VII при изготовлении небольших отливок. Применительно к литью по выплавляемым моделям метод разработан М. Л. Хенкиным на основе обширных экспериментальных исследований с отливками из углеродистых сталей.

Сечение стояка определяют рациональным размещением отливок. Автор рекомендует брать стояки диаметром $d_c = 26 \div 65$ мм (при меньшем — недостаточно прочны, при большем — образуют громоздкие и тяжелые блоки). При расчете стояка, учитывая незначительное влияние торцовых участков, в расчет принимают приведенную толщину сечения $R_c = F_c/P_c$, где F_c и P_c — площадь, мм², и периметр, мм, нормального сечения стояка.

Питатель при этом рекомендуется рассчитывать по следующей эмпирической формуле, в которой первый множитель, стоящий после k , характеризует параметры отливки, второй — параметры ЛПС:

$$R_{\text{пит}} = k \sqrt[4]{R_y^3 G_0} \sqrt[3]{l_{\text{пит}}/R_c}, \quad (3.2)$$

где $R_{\text{пит}} = F_{\text{пит}}/P_{\text{пит}}$ — приведенная толщина сечения питателя, мм; $F_{\text{пит}}$ и $P_{\text{пит}}$ — площадь, мм², и периметр, мм, его сечения; k — коэффициент пропорциональности; определяют эмпирически и приближенно принимают, $k = 11$; $R_y = V_y/S_y$ — приведенная толщина теплового узла отливки, мм; при наличии в отливке двух и более узлов R_y определяют отдельно для каждого узла; G_0 — масса от-

Рис. 3.9. К расчету элементов питания для небольшой отливки

ливки, кг; $l_{\text{пит}}$ — длина питателя, мм; выбирают $l_{\text{пит}} = 4 \div 8$ мм, т. е. минимально достаточной для отрезки отливок от литников.

При питании отливок от цилиндрического коллектора, выполненного в виде утолщения стояка, например дискового коллектора, принимают приведенную толщину его

$$R_{\text{к. цил}} \approx 1,15 R_c. \quad (3.3)$$

Высоту коллектора принимают равной его диаметру или несколько большей.

Для кольцевого коллектора

$$R_{\text{к. кольц}} \approx (0,7 \div 0,75) R_c. \quad (3.4)$$

При ЛПС с коллекторами в виде прямоугольного бруса приведенную толщину сечения коллектора можно определить также по формуле

$$R_k \approx (0,75 \div 0,85) R_c. \quad (3.5)$$

Дополнительные условия метода:

если размеры питателя, определенные по формуле (3.2), не укладываются на тепловом узле отливки, то необходимо уменьшить их до требуемых, а затем определить приведенную толщину стояка, поменяв местами $R_{\text{пит}}$ и R_c в формуле (3.2);

расстояние от верхнего уровня литниковой воронки до верхнего уровня отливки должно быть не менее 60 мм;

при изготовлении отливок из медных сплавов приведенные толщины для стояков и питателей могут быть уменьшены на 30—40 %.

Пример 1. Рассчитать ЛПС типа I (центральный стояк) для детали «ушко» из стали 35Л; масса отливки $G_0 = 0,185$ кг (рис. 3.9).

Тепловой узел отливки представляет собой цилиндр диаметром $d_y = 18$ мм и длиной $l_y = 40$ мм. Приведенная толщина его

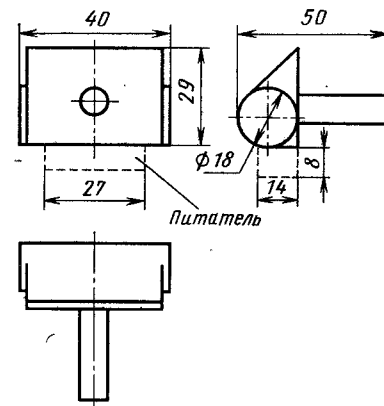
$$R_y = V_y/S_y = [(\pi/4) d_y^2 l_y] / [\pi d_y l_y + 2(\pi/4) d_y^2] = [(1/4) 18^2 \cdot 40] / [18 \cdot 40 + (1/2) 18^2] = 3,7 \text{ мм.}$$

Далее принимаем $l_{\text{пит}} = 8$ мм, учитывая отрезку отливок дисковой фрезой, $d_c = 35$ мм, исходя из рационального размещения деталей. Тогда

$$R_c = F_c/P_c = [(\pi/4) d_c^2] / (\pi d_c) = [(1/4) 35^2] / 35 = 9,7 \text{ мм.}$$

Теперь по формуле (3.2) находим

$$R_{\text{пит}} = k \sqrt[4]{R_y^3 G_0} \sqrt[3]{l_{\text{пит}}/R_c} = 11 \sqrt[4]{3,7^3 \cdot 0,185} \sqrt[3]{8/9,7} = 4,6 \text{ мм.}$$



Приняв прямоугольное сечение питателя толщиной $a_{\text{пит}} = 14$ мм, находим его ширину $b_{\text{пит}}$. Так как

$$R_{\text{пит}} = a_{\text{пит}} b_{\text{пит}} / (2a_{\text{пит}} + 2b_{\text{пит}}),$$

то

$$b_{\text{пит}} = 2a_{\text{пит}} R_{\text{пит}} / (a_{\text{пит}} + 2R_{\text{пит}}) = 2 \cdot 14 \cdot 4,6 / (14 + 2 \cdot 4,6) = 27 \text{ мм.}$$

Расчет полых стояков (разновидность ЛПС типа III), характеризующихся в ряде случаев высокой экономичностью. Приведенные толщины сечения полого стояка и питателя рассчитывают по формулам

$$R_{\text{с. пол}} = 1,605 R_y^{0,65}; \quad R_{\text{пит}} = 1,605 R_y^{0,49} \quad (3.6)$$

Длину питателя принимают равной 8—10 мм. Диаметр стояка по средней линии сечения 45—200 мм, высота ~300 мм. Полый стояк выполняют конусным: толщины его стенки вверху и внизу соответственно равны

$$a_{\text{с. верх}} = 3,24 R_y^{0,81}; \quad a_{\text{с. низ}} = 3,24 R_y^{0,45}. \quad (3.6 \text{ а})$$

Расчет литниково-питающей системы с сифонным стояком (тип IV) при литье магнитов из сплавов типа ЮНДК. Питатель для удобства отделения отливки ударом выполняют с пережимом. Высота питателя $b_{\text{пит}}$ обычно соответствует высоте отливки. Толщина питателя тогда составит

$$a_{\text{пит}} = 2R_o b_{\text{пит}} / (b_{\text{пит}} - 2R_{\text{пит}}). \quad (3.7)$$

В месте пережима, как показал опыт, оболочковая форма хорошо прогревается, и ширина пережима $a'_{\text{пит}}$ может составлять лишь часть расчетной ширины питателя

$$a'_{\text{пит}} = k' a_{\text{пит}}, \quad (3.7 \text{ а})$$

где k' — коэффициент, отражающий марку сплава, для сплава ЮНДК35Т5 $k = 0,8$; для ЮНДК24Т2 $k = 0,7$; для ЮН15ДК24 и ЮНДК15 $k = 0,6$ (ГОСТ 17809—72).

Необходимую приведенную толщину стояка, заполняемого сифоном, рекомендуется определять по формуле [98]

$$R_{\text{с. сиф}} = 1,5 R_o. \quad (3.8)$$

Комплексный метод. Приведенные толщины в первом приближении отражают различия в скоростях затвердевания конструктивных элементов отливок и ЛПС, но не отражают некоторых теплофизических и технологических факторов, оказывающих заметное влияние на процесс затвердевания отливок, в том числе: ускорение затвердевания цилиндра и сферы по сравнению с оценками по приведенным толщинам, тепловое состояние прибыли, объем питаемого узла. В формулах (3.2)—(3.8) факторы такого рода нашли частичное отражение в виде опытных численных коэффициентов и степенных зависимостей. Однако возникает задача их более строгого учета.

Опираясь на идеи Р. Намюра, Я. И. Шкленник предложил следующую формулу для расчета объема прибыли (см^3), имеющей конфигурацию в виде усеченного конуса [108]:

$$V_{\text{п}} = m \xi (1 + \beta)^3 y z R_y^3 + 3\beta V_{\text{ф}}. \quad (3.9)$$

Слагаемые отвечают требованиям: первое — более позднему затвердеванию прибыли по сравнению с отливкой, второе — гарантированному минимуму запаса жидкого расплава в прибыли к концу затвердевания. К абсолютным величинам, входящим в формулу (3.9), относятся: R_y — приведенная толщина теплового узла отливки, питаемого от прибыли; β — объемная усадка; для стали принимают $\beta = 0,06$; $V_{\text{ф}}$ — объем расплава в форме, питаемый от данной прибыли, т. е. объем залитого в форму расплава, который, очевидно, больше объема твердой отливки, $V_{\text{ф}} = V_o (1 + \beta)$.

Для расчета R_y и $V_{\text{ф}}$ сначала необходимо определить места установки прибылей, опираясь на опытные данные о радиусе действия прибыли и торца (табл. 3.4).

Факторы, влияющие на объем прибыли, включены в формулу (3.9) в качестве безразмерных эмпирических коэффициентов. Ниже приведены данные для выбора и расчета безразмерных коэффициентов

применительно к литью по выплавляемым моделям: m — коэффициент, учитывающий расстояние между питателем и шейкой прибыли, он отражает факт заполнения сливной прибыли несколько охлажденным расплавом; значения m выбирают в зависимости от расстояния между питателем и шейкой прибыли L , выраженного в толщинах тела отливки.

m	1,0	1,03	1,05	1,10	1,15	1,2
L	2	2—5	5—10	10—20	20—30	30—40

Для заливки через прибыль $m = 0,9$ при любых значениях L . ξ — коэффициент конфигурации прибыли, определяемый отношением $\xi = S_{\text{п}}^3 / V_{\text{п}}^2$, где $S_{\text{п}}$ и $V_{\text{п}}$ — поверхность охлаждения и объем прибыли, выраженные через одни и те же соотношения; например, для цилиндрической прибыли с основанием диаметром $d_{\text{п}} = 1$ и высотой $h_{\text{п}} = 1,25 d_{\text{п}}$ имеем

$$\xi = \frac{(\pi d_{\text{п}} 1,25 d_{\text{п}} + \pi d_{\text{п}}^2 / 4)^3}{[(\pi d_{\text{п}}^2 / 4) 1,25 d_{\text{п}}]^2} = 108.$$

y — коэффициент конфигурации прибыли и теплового узла отливки; учитывает отклонение в продолжительности затвердевания тел, имеющих одинаковую приведенную толщину, но различную форму. Выбирают его по табл. 3.5, составленной Я. И. Шкленником и Л. А. Киселем по экспериментальным данным для отливок с одинаковой приведенной толщиной.

z — коэффициент теплового состояния прибыли, определяемый как соотношение удельных тепловых потоков на поверхности металл —

Таблица 3.4

Радиус действия прибыли и торца, выраженный в толщинах тела отливки

Начальная температура формы, °С	Прибыль	Торец
900	8—10	8—10
1200	12—15	10—12

Таблица 3.5

Коэффициент y

Охлаждаемое тело	Формула приведенной толщины R_y	y	Охлаждаемое тело	Формула приведенной толщины R_y	y
Плита толщиной a	$a/4$	1,54	Цилиндр диаметром d при $l > 8d$	$d/4$	1,00
Брус прямоугольного сечения $a' \times 4a'$	$a'/2,5$	1,42	Шар диаметром d'	$d'/6$	0,75
Брус квадратного сечения $a'' \times a''$	$a''/4$	1,27	Цилиндрическая прибыль высотой $h_{\text{ц}} = 1,25d_{\text{ц}}$	$d_{\text{ц}}/4,4$	0,95

форма для прибыли и теплового узла отливки; для неутепленных прибылей принимают $z = 1$, для утепленных $z = 0,65$.

Утепление прибылей при литье по выплавляемым моделям особенно эффективно при производстве сложных отливок типа турбинных лопаток, роторов, постоянных магнитов и деталей корпусного типа из дорогих и дефицитных сплавов. По Я. И. Шкленнику и Л. А. Киселю, утепление прибыли достигается путем создания воздушного зазора шириной 1,5–2 мм в теле оболочковой формы (рис. 3.10). Для создания воздушного зазора после образования четырех — шести слоев оболочки поверх последнего слоя в необходимых местах наносят слой модельного состава толщиной 1,2–2 мм. Далее наносят последующие слои оболочки. После удаления модельного состава вокруг прибыли образуется воздушный зазор, вследствие чего увеличивается продолжительность затвердевания прибыли примерно в 1,5 раза.

Метод вписанных сфер. В методе вписанных сфер условно принимается, что диаметр сферы D , вписанной в тело отливки, отражает относительную продолжительность затвердевания на рассматриваемом участке. Принцип направленного затвердевания считается выдержанным, если диаметр вписанной сферы постепенно увеличивается в направлении от торцевой части отливки к прибыли. Другими словами, для обеспечения плотного металла необходимо,

чтобы на любом n -ом участке тела отливки соблюдалось условие

$$D_{n-1} < D_n < D_{n+1}, \quad (3.10)$$

где D_n , D_{n-1} , D_{n+1} — диаметры вписанных сфер на рассматриваемых участках соответственно n -ом, прилежащих к n -му со стороны торца отливки и со стороны прибыли.

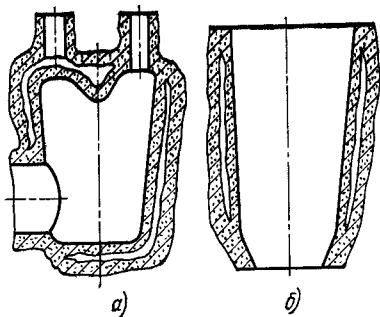


Рис. 3.10. Схемы прибылей с воздушным зазором: а — закрытая; б — открытая

Метод вписанных сфер, называемый также методом вписанных окружностей, характеризуется простотой и наглядностью. Большой круг вписанной сферы несложно изобразить на чертеже сечения отливки, в том числе на чертеже сечения, ограниченного вогнутыми поверхностями; диаметр большого круга может быть определен с достаточной для практики точностью непосредственным измерением на чертеже без вычислений. Диаметр вписанной сферы дает непосредственное представление о толщинах стенки, бруса или компактного узла, в том числе образующихся в результате сочленения элементов. Метод позволяет учесть любые изменения в конструкции отливки и оценить размер узла с внутренними галтелями, чего нельзя сделать методом приведенных толщин.

Вместе с тем метод вписанных сфер, в отличие от метода приведенных толщин, не учитывает влияние формы охлаждаемого тела на скорость его затвердевания; пластина, брус и компактный узел, имеющие одинаковый диаметр вписанной сферы, считаются затвердевающими одновременно. Поэтому на практике может оказаться, что, несмотря на соблюдение метода вписанных сфер, преждевременно затвердевает канал питания и в отливке образуется усадочная раковина. Поясним сказанное на примере отливки достаточно широкой втулки высотой 30 мм при толщине стенки 10 мм, питаемой через цилиндрический питатель диаметром 12 мм от центрального стояка сечением 30 × 30 мм. Диаметры вписанных сфер соответственно равны: отливки $D_{n-1} = 1$ см, питателя $D_n = 1,2$ см, стояка $D_{n+1} = 3$ см. Условие (3.10) выполнено. Проверим, однако, относительную продолжительность затвердевания методом приведенных толщин, которые для данных сечений будут

$$R_{n-1} = R_o = 3 \cdot 1 / [2(3 + 1)] = 0,37 \text{ см};$$

$$R_n = R_{\text{пит}} = \pi \cdot 0,6^2 / (\pi \cdot 1,2) = 0,30 \text{ см};$$

$$R_{n+1} = R_c = 3 \cdot 4 / [2(3 + 4)] = 0,86 \text{ см}.$$

Здесь $R_{n-1} > R_n$, что противоречит условию (3.1); следовательно, питатель затвердевает раньше отливки, и в последней образуется усадочная раковина.

Для правильного использования метода вписанных сфер необходимо, чтобы питатель по форме своего сечения приближался к отливке. В рассмотренном примере придание питателю формы дугообразного тела, соответствующего контуру отливки, т. е. изогнутой пластине, при некотором увеличении толщины питателя и отношении толщины питателя к его ширине $a_{\text{пит}} : b_{\text{пит}} = 3$ дает

$$R_{\text{пит}} = a_{\text{пит}} b_{\text{пит}} / [2(a_{\text{пит}} + b_{\text{пит}})] = 1,2 \cdot 3,6 / [2(3,6 + 1,2)] = 0,45 \text{ см},$$

т. е. соблюдение условий (3.10) и (3.1).

Расчет ЛПС по диаметрам вписанных сфер применительно к литью по выплавляемым моделям разработан Н. Н. Лященко на основании экспериментальных работ и обобщения производственного опыта (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Формулы для расчета ЛПС типа I

Конструктивный элемент	Характерный размер	Расчетные формулы узла	
		компактного	протяженного
Отливка	Диаметр сферы, вписанной в узел D_y	Определяют по чертежу отливки	
Питатель	Толщина $a_{\text{пит}}$	$a_{\text{пит}} = (1 \div 1,2) D_y$	
	Ширина $b_{\text{пит}}$	$b_{\text{пит}} = a_{\text{пит}} \quad b_{\text{пит}} = (3-4) D_y$	
	Длина $l_{\text{пит}}$	$l_{\text{пит}} = 6 \div 8 \text{ мм}$	
Стояк	Диаметр или ширина a_c	Определяют по раскладке отливок, но не менее $a_c > 3d_{\text{пит}}$	

Таблица 3.7

Формулы для расчета прибыли (типы V—VIII) и горизонтального литникового хода (II, VII)

Конструктивный элемент	Характерный размер	Расчетные формулы для узла	
		компактного	протяженного
Отливка	Диаметр сферы, вписанной в узел D_y	Определяют по чертежу отливки	
Шейка прибыли	Толщина (диаметр) $a_{\text{ш}}$	$a_{\text{ш}} = (1 \div 1,2) D_y$	
	Ширина $b_{\text{ш}}$	$b_{\text{ш}} = a_{\text{ш}} \quad \quad b_{\text{ш}} = (3 \div 4) D_y$	
	Высота $h_{\text{ш}}$	$h_{\text{ш}} = (0,4 \div 0,5) D_y$	
Прибыль	Толщина нижнего основания $a_{\text{п}}$	$a_{\text{п}} = k_1 D_y$	
	Ширина нижнего основания $b_{\text{п}}$	$b_{\text{п}} = a_{\text{п}} \quad \quad b_{\text{п}} = b_{\text{ш}} + (k_1 - 1) D_y$	
	Угол при вершине конуса α	$\alpha = 10 \div 15^\circ$	
	Высота прибыли:		
	закройтой $h_{\text{п}}$	$h_{\text{п}} = (2,5 \div 3) D_y$	
	открытой $h'_{\text{п}}$	$h'_{\text{п}} = (3 \div 3,5) D_y$	
	Радиус действия прибыли $r_{\text{д}}$	$r_{\text{д}} = k_3 D_y$	
	Наименьшее расстояние между шейками прибылей $l_{\text{п}}$	$l_{\text{п}} \leq 2r_{\text{д}}$	
	Ширина верхней части закрытой прибыли $a'_{\text{п}}$	По построению	

Продолжение табл. 3.7

Конструктивный элемент	Характерный размер	Расчетные формулы для узла	
		компактного	протяженного
Выпор	Диаметр $d_{\text{вып}}$	$d_{\text{вып}} = (0,2 \div 0,3) a'_{\text{п}}$	
Отливка	Диаметр сферы, вписанной в нижний узел D'_y	Определяется по чертежу отливки	
Питатель	Толщина (диаметр) $a_{\text{пит}}$	$a_{\text{пит}} = (1 \div 1,2) D'_y$	
	Ширина $b_{\text{пит}}$	$b_{\text{пит}} = a_{\text{пит}} \quad \quad b_{\text{пит}} = (3 \div 4) D'_y$	
	Длина $l_{\text{пит}}$	$l_{\text{пит}} = 6 \div 8 \text{ мм}$	
Горизонтальный литниковый ход	Ширина сечения b_x	$b_x = k_1 D'_y$	
Стояк	Высота сечения h_x	$h_x = b_x$	
	Ширина (диаметр) a_c	$a_c > k_2 b_x$	

Расчет размеров прибыли и коллекторов выполняют по формулам, приведенным в табл. 3.7; при расчете прибыли применяют формулы, относящиеся к верхнему узлу, при расчете горизонтального литникового хода — к нижнему узлу. На рис. 3.11 показана обобщающая схема: верхняя часть относится к расчету прибыли, нижняя — к расчету ЛПС с горизонтальным литниковым ходом.

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 , отражающие характер и величину усадки сплава, приведены в табл. 3.8.

С целью сокращения расхода металла и высоты блока целесообразно применение закрытых прибылей с выпорами. Для использования атмосферного давления в верхней части прибыли выполняют

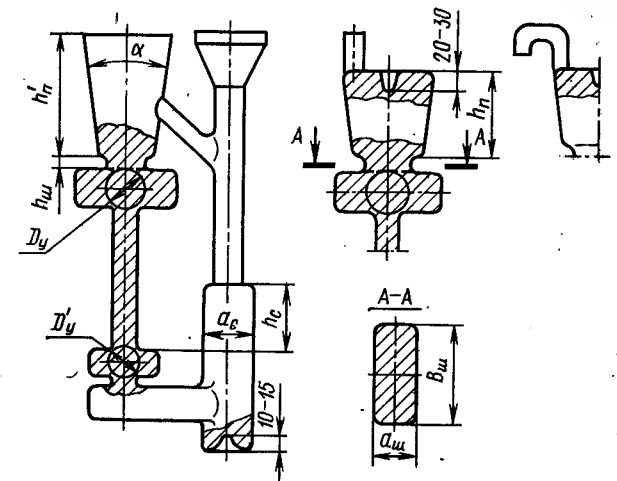


Рис. 3.11. Обобщенная схема к расчету прибыли и горизонтального литникового хода методом вписанных сфер

Значения коэффициентов, указанных в табл. 3.7

Коэффициент	Коэффициенты для сталей		
	углеродистой	средне-легированной	высоко-легированной
k_1	1,4	1,6	1,8
k_2	1,2	1,25	1,3
k_3	5	4	2,5

расположении к узлу отливки прибыль разогревает узел, последний фактически становится придатком прибыли и содержит хвостовую часть усадочной раковины, которая может глубоко внедряться в стенку отливки.

При массивных узлах большой протяженности, например кольцевых, следует устанавливать несколько прибылей с учетом радиуса их действия.

Для непрерывного поступления снизу свежих порций металла, компенсирующего усадку, необходимо, чтобы в течение всего периода затвердевания в литниковом ходе и питателе сохранялся гидростатический напор, создаваемый в стояке. Для этого поперечный размер стояка должен быть больше, чем литникового хода. Высоту утолщенной части стояка h_c целесообразно принимать минимальной, так как более тонкий стояк позволяет быстрее создать высокий гидростатический напор, необходимый для заполнения тонкостенных участков отливки, и экономичнее.

Сливные прибыли в общем случае использовать не рекомендуется. Если же применения их избежать не удастся, то им следует придавать в 1,5—2 раза больший объем по сравнению с обычными прибылями. Соотношения размеров сливных прибылей должны быть теми же.

Пример 2. Методом вписанных сфер рассчитать прибыли ЛПС типа VIII (см. рис. 3.8, в) для отливки из стали 10Х18Н9Л (ГОСТ 2176—77); отливка представляет собой массивное кольцо толщиной 30 мм, диаметр наружный 320 мм и внутренний 240 мм; к кольцу присоединена тонкая кольцевая стенка толщиной 4,5 мм.

Прибыли рассчитывают по формулам, приведенным в табл. 3.7, в следующем порядке.

1. Расчет шейки прибыли. Диаметр вписанной в узел сферы по чертежу $D_y = 33$ мм. Тогда толщина шейки прибыли

$$a_{ш} = (1 \div 1,2) D_y = (1 \div 1,2) 33 = 33 \div 40 \text{ мм.}$$

Имея в виду ограничение шейки прибыли шириной кольца, принимаем $a_{ш} = 36$ мм. Ширина шейки прибыли для кольца, представляющего собой протяженный узел

$$b_{ш} = (3 \div 4) D_y = (3 \div 4) 33 = 99 \div 132 \text{ мм;}$$

принимаем $b_{ш} = 120$ мм.

2. Высота шейки прибыли

$$h_{ш} = (0,4 \div 0,5) D_y = (0,4 \div 0,5) 33 = 13 \div 17 \text{ мм;}$$

принимаем $h_{ш} = 16$ мм.

конусное углубление глубиной 10—20 мм, шириной 8—12 мм. Применение изогнутого выпора (см. рис. 3.11) позволяет предотвратить попадание наполнительного песка в полость формы.

Прибыль присоединяют к отливке через шейку, которая служит для некоторого отдаления прибыли от теплового узла. При близком

3. Расчет прибыли. Выбираем закрытую прибыль, ее высота

$$h_{п} = (2,5 \div 3) D_y = (2,5 \div 3) 33 = 83 \div 99 \text{ мм;}$$

принимаем $h_{п} = 95$ мм.

Толщина и ширина нижнего основания прибыли

$$a_{п} = k_1 D_y = 1,8 \cdot 33 = 60 \text{ мм;}$$

$$b_{п} = b_{ш} + (k_1 - 1) D_y = 120 + (1,8 - 1) 33 = 146 \text{ мм.}$$

4. Расчет числа прибылей. Радиус действия прибыли

$$r_{д} = k_3 D_y = 2,5 \cdot 33 = 82 \text{ мм,}$$

откуда расстояние между прибылями должно быть

$$l_{п} \leq 2r_{д} = 2 \cdot 82 = 164 \text{ мм.}$$

Протяженность внутренней границы кольца

$$\pi 240 = 754 \text{ мм;}$$

шаг по шейкам прибылей

$$b_{ш} + l_{п} = 120 + 164 = 284 \text{ мм.}$$

Отсюда $754/284 = 2,63 = 3$ прибыли, равномерно распределенные по окружности.

5. Выпор. По построению ширина верхней части закрытой прибыли при $\alpha = 12^\circ$ составляет $a'_{п} = 90$ мм. Диаметр выпора

$$d_{вып} = (0,2 \div 0,3) a_{п} = (0,2 \div 0,3) 90 = 18 \div 27 \text{ мм;}$$

принимаем $d_{вып} = 26$ мм.

3.3. РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ КАНАЛОВ

Литниковые каналы должны обеспечивать хорошую заполняемость литейной формы, включая узкие полости, и предупреждать попадание в отливку воздуха и плотных неметаллических включений. Кроме того, в литниковых каналах должны удерживаться частицы засора, которые попадают в полость формы через литниковую воронку до заливки. После заливки поверхность литниковых воронок и открытых прибылей необходимо тотчас засыпать сухим песком, чтобы замедлить затвердевание металла сверху.

Обеспечение заполняемости. При изготовлении отливок из конструкционной стали со стенками толщиной более 5 мм ЛПС обычно не содержит элементов, регулирующих скорость заливки. Последняя регулируется рабочим-заливщиком. При изготовлении отливок с более тонкими стенками (менее 5 мм) или кромками недостаточная скорость заливки приводит к недоливкам. Ниже приведена схема расчета ЛПС на скорость заполнения формы сталью. Требуемую удельную скорость заливки (кг/с) можно вычислить по эмпирической формуле

$$Q_{зал} = k_4 l_{ст} / a_{ст}, \quad (3.11)$$

где k_4 — коэффициент пропорциональности; при подводе металла сверху $k_4 = 0,05$, сбоку $k_4 = 0,06$ и снизу $k_4 = 0,08$; $a_{ст}$, $l_{ст}$ — толщина и наибольшая протяженность тонкой стенки или кромки отливки.

Для отливок со стенками толщиной более 5 мм можно определять продолжительность заливки по формуле

$$\tau_{\text{зал}} = \left[\frac{\pi V_0 \rho_r c_p (t_{\text{зал.н}} - t_{\text{зал.к}})}{S_0 b_{\phi} (t_{\text{зал.н}} - t_{\phi.н})} \right]^2, \quad (3.12)$$

где ρ_r , c_p — плотность, кг/м³, и удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C) расплава; $t_{\text{зал.н}}$, $t_{\text{зал.к}}$ — температура расплава в начале и в конце заливки, °C; b_{ϕ} — коэффициент аккумуляции теплоты для материала формы, Дж/(м²·с^{1/2}·°C); $t_{\phi.н}$ — начальная температура формы, °C.

Согласно законам гидравлики суженное сечение канала и гидростатический напор для случая ньютоновской жидкости, к которой относится заполняющий форму металлический расплав, связаны уравнением

$$f_0 \sqrt{H_p} = Q_{\text{зал}} / (\mu \rho \sqrt{2g}), \quad (3.13)$$

где f_0 — площадь суженного сечения, м²; H_p — гидростатический напор в суженном сечении, складывающийся из высоты расплава в форме и высоты струи, падающей из ковша, м; $Q_{\text{зал}}$ — расход расплава через суженное сечение, кг/с; μ — коэффициент расхода, $\mu = 0,7 \div 0,9$; ρ — плотность жидкого металла; для стали можно принять $\rho = 7000$ кг/м³; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

При изготовлении толстостенных отливок из конструкционных сталей, к которым будем условно относить отливки со стенками толщиной более 5 мм, значением H_p можно задаваться, исходя из конструктивных соображений; однако во всех случаях должно быть для стали $H_p \geq 0,07$ м и для алюминиевых сплавов $H_p \geq 0,21$ м; при меньших значениях H_p получение четких кромок у отливок не гарантируется.

Для тонкостенных отливок ($a_{\text{ст}} \leq 5$ мм) имеем также

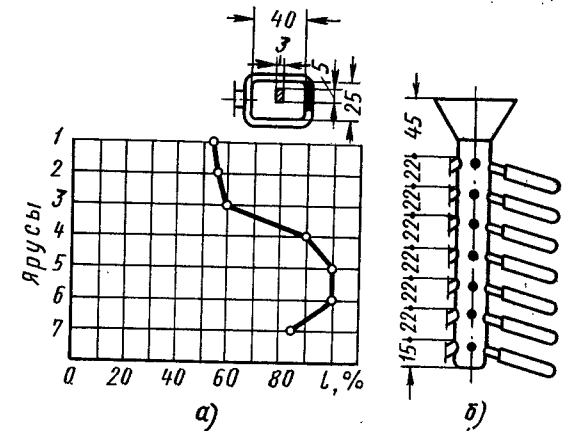
$$H_p = 2\sigma \cos \theta / (a_{\text{ст}} \rho g), \quad (3.14)$$

где σ — поверхностное натяжение расплава, Н/м, для среднеуглеродистой стали $\sigma \approx 1,5$ Н/м; θ — угол смачивания стенок литейной формы расплавом, рад, для стали с учетом гистерезиса смачивания можно принять $\theta = 3,14$ рад (180°); $a_{\text{ст}}$ — толщина тонкой стенки, м.

Расчеты по формуле (3.14) показывают, что для вхождения расплавленной стали в полость формы шириной 1,5 мм достаточен $H_p = 3$ см, а для полости шириной 0,5 мм необходим уже $H_p = 9$ см.

Опыты по заполнению тонких пластин длиной 80 мм, присоединенных к стояку высотой 280 мм, показали, что большинство пластин толщиной 2,3 мм заполнилось сталью до конца, все пластины толщиной 1,3 мм заполнились не на всю длину, пластины толщиной 0,7 мм заполнялись не более чем на 5 мм. Практика производства подтверждает результаты опытов: при литье по выплавляемым моделям стальных отливок с $a_{\text{ст}} < 1,2$ мм наблюдается массовый брак по недоливам.

Рис. 3.12. Длина заполненной части стенки l (%) ко всей длине стальной отливки «рамка» в зависимости от положения на стояке (а). Схема формы (б). Типичный недолив зачернен



На основе экспериментальных и производственных данных установлено также, что наилучшая заполняемость достигается у отливок, расположенных в средней по высоте зоне стояка (рис. 3.12). Недоливы в верхних ярусах вызваны недостаточным гидростатическим напором. Применение в нижней части стояка зумпфа высотой 30—40 мм улучшает заполняемость отливок нижнего яруса вследствие слива в него первых холодных порций металла и более быстрого создания здесь гидростатического напора.

При подводе металла снизу по сравнению с подводом сверху из-за дополнительных потерь теплоты заполняемость снижается на 50 %, считая по площади тонкой стенки.

Зная $Q_{\text{зал}}$ и H_p , можно определить площадь суженного сечения по формуле

$$f_0 = 0,23 Q_{\text{зал}} / (\mu \rho \sqrt{H_p}). \quad (3.15)$$

Иногда вначале задаются f_0 , если это необходимо, например для получения модельного блока более высокой прочности. Тогда в формуле (3.15) f_0 и $\sqrt{H_p}$ следует поменять местами. Если суженное сечение совпадает с сечением шейки прибыли или питателя, то расчет f_0 и H_p по формулам (3.13) и (3.15) выполняют как проверочный на обеспечение необходимой скорости $Q_{\text{зал}}$. Суженному сечению рекомендуется придавать форму круга или прямоугольника. При нескольких суженных сечениях определяют их суммарную площадь Σf_0 .

В зависимости от конфигурации отливки и конкретных условий производства можно применять различные варианты регулирования скорости заполнения формы металлом (табл. 3.9).

Вариант А применяет наиболее часто при ЛПС всех типов. Суженное сечение отсутствует, скорость заливки регулируется заливщиком. Применение широких литниковых воронок в соответствии с табл. 3.10 обеспечивает условия для заливки с достаточной скоростью. Узкие литниковые воронки или воронки с углом конус-

Варианты регулирования скорости заливки

Таблица 3.9

Вариант	Принцип регулирования скорости заливки	Схема	Тип ЛПС
А	С учетом размеров литниковой воронки		I—VIII
Б	За счет наличия в отливке естественного суженного сечения f_0		VII
В	Суженное сечение помещается в литниковом ходе, идущем от металлоприемника бокового стояка		VI
Г	Суженное сечение помещается под литниковой воронкой		I—III, VI

ности более 60° приводят к необходимости притормаживать заливку во избежание возможных выплескиваний металла, что, в свою очередь, способствует образованию недоливов.

При ЛПС типа I целесообразно выполнить проверочный расчет нижнего диаметра d_b и высоты h_b литниковой воронки как прибыли, питающей стояк [108],

$$d_b = 0,74 \sqrt{466R_c + 0,2(V_c + V_o N_o)}, \quad (3.16)$$

$$h_b = 1,5d_b,$$

где R_c , V_c — приведенная толщина стояка и его объем; V_o , N_o — объем единичной отливки и число отливок, питаемых от стояка.

Вариант Б характерен при ЛПС типа VII с питанием от нижнего горизонтального хода и верхней прибыли. Верхний участок стояка целесообразно выполнять более тонким, но толщиной не менее 20 мм, что позволит ускорить достижение необходимого напора.

Вариант В применяют при заливке через верхнюю прибыль — ЛПС типа VI.

Вариант Г применяют при заливке сверху в сочетании с ЛПС типов I—III и VI. На рис. 3.13 показан заливочный стаканчик с калиброванным суженным сечением, вставляемый в воронку стояка или прибыль. Диаметр выпускного отверстия в стаканчике D_0 (мм) рассчитывают на оптимальную продолжительность заливки $\tau_{зал}$ (с); оба параметра определяют по эмпирическим формулам; для углеродистой стали при уровне металла в стаканчике, равном 70 мм,

$$\tau_{зал} = s \sqrt{a_{ст} G_{зал}}; \quad D_0 = 1,49 \sqrt{G_{зал} / \tau_{зал}}, \quad (3.17)$$

где s — коэффициент, учитывающий способ заливки стали при температуре $1580—1610^\circ\text{C}$; для оболочковых форм на основе кварца и этилсиликата $s = 1,65 \pm 0,07$ при заливке через стояк, $s = 2,2 \pm 0,2$ при заливке через прибыль; $a_{ст}$ — преобладающая толщина стенки отливки, мм; $G_{зал}$ — масса металла, заливаемого через стаканчик, кг.

Радиус входной кромки заливочного стаканчика принимают $r = 0,25D_0$, что обеспечивает получение струи максимального сечения. Газы и воздух из стояка в период заливки удаляются через щели между стаканчиком и формой.

Пример 3. Рассчитать литниковые каналы для кольцевой отливки с прибылями, размеры которых рассчитаны в примере 2. Последовательность расчета (см. рис. 3.8, е) следующая.

1. Расчет необходимой удельной скорости заливки $Q_{зал}$. Длина тонкой стенки отливки по окружности $l_{ст} = 3,14 \cdot 280 = 880$ мм. При заливке сверху $k_4 = 0,05$, тогда по формуле (3.11)

$$Q_{зал} = k_4 l_{ст} / a_{ст} = 0,05 \cdot 880 / 4,5 \approx 10 \text{ кг/с.}$$

Рис. 3.13. Заливочный стаканчик с калиброванным суженным сечением

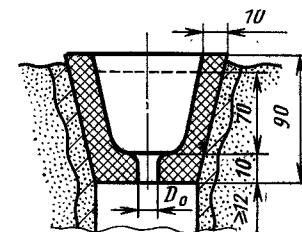


Таблица 3.10
Рекомендуемые размеры (мм) литниковых воронок

Удельная скорость заливки, кг/с	D	m	r
До 1	60	10	3
1—1,5	80	14	3
1,5—3	100	18	4
Более 3	120	22	5

Примечание. Угол конусности воронки $55—60^\circ$; D — диаметр верхнего основания; m — высота цилиндрической части диаметром D; r — радиусы скруглений.

2. Выбор конструкции литниковых ходов. Для одновременной подачи металла во все прибыли останавливаемся на центральном стояке с отходящими к каждой прибыли наклонными литниковыми ходами.

3. Расчет суммарной площади суженных сечений. Приняв $H_p = 7$ см, по формуле (3.15) находим

$$\sum f_0 = 0,23 Q_{\text{зал}} / (\mu_p \sqrt{H_p}) = 0,23 \cdot 10 / (0,9 \cdot 7000 \sqrt{0,07}) = 0,00136 \text{ м}^2 = 13,6 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения одного литникового хода $f_0 = 13,6/3 = 4,5$ см. Принимаем, что суженное сечение имеет форму прямоугольника шириной 16 мм. Тогда высота сечения $4,5 \cdot 100/16 = 28$ мм.

4. Расчет центрального стояка. Сечение стояка должно быть на 10—20 % больше суммарной площади суженных сечений, т. е. $\sim 15 \text{ см}^2$. Диаметр стояка соответственно будет

$$d_c = \sqrt{4f_c/\pi} = \sqrt{4 \cdot 15 \cdot 100/3,14} = 44 \text{ мм}.$$

Высоту зумпфа принимаем равной 40 мм. Остальные размеры устанавливаем конструктивно.

В практике может встретиться случай, когда, несмотря на правильно спроектированные ходы, в отливке наблюдаются недоливы, вызванные, например, недостаточной технологичностью детали для получения ее литьем по выплавляемым моделям или с трудностями всестороннего учета факторов. При отработке ЛПС в таких случаях необходимо принять во внимание особенности процесса заполнения узкой полости литейной формы.

Как показали опыты на парафине и металле, процесс заполнения узкой полости формы может быть расчленен на четыре стадии. На первой стадии у входа в полость расплав образует выпуклый мениск. На второй стадии, когда все увеличивающийся напор преодолевает сопротивление поверхностного натяжения в мениске, стремительно заполняется часть полости формы. Третья стадия начинается с момента образования на переднем крае потока твердой корочки; скорость потока резко падает, и, наконец, поток останавливается раньше, чем полость заполнится до конца. На четвертой стадии вследствие дальнейшего возрастания напора в стояке или действия инерционных сил наблюдается прорыв передней корочки с образованием узких и маломощных вторичных потоков. Чтобы обеспечить выполнение тонких стенок в пределах второй стадии, необходимо проводить заливку при температуре расплава на 20—30 °С выше температуры ликвидуса.

При отливке тонких стенок большой протяженности возможны все четыре стадии. При заполнении толстостенных отливок первая стадия не имеет значения. При быстром заполнении нагретых форм с узкими полостями достаточно горячим металлом вероятность образования корочки на головной части потока уменьшается и процесс заполнения завершается в пределах второй стадии.

Предупреждение попадания неметаллических включений.
Засор. Источники засора: остатки золы из модельного состава, поломка и растрескивание оболочковой формы, заусенцы на краю формы и частицы, проникающие в форму через литниковую воронку. Распределение засора подчиняется закономерностям, которые необходимо учитывать при проектировании ЛПС.

Опыты на прозрачных моделях и натуральных образцах, заливаемых сталью, позволили выявить, что падающие сверху частицы неравномерно распределяются по высоте ярусов. Наибольшее число частиц оседает в верхних и затем нижних ярусах. Наименее засоренными являются те отливки, которые располагаются ниже верхнего края литниковой воронки не менее чем на 100 мм и выше дна стояка не менее чем на 30 мм. Размеры этих участков мало зависят от общей высоты стояка. Поэтому целесообразно применять возможно более высокие стояки с зумпфом глубиной ~ 40 мм.

На поверхности отливки засор также распределяется неравномерно: наиболее поражены засором удаленные от питателя участки отливок; по-видимому, засор заносится туда первыми порциями металла, смывающими частицы со стенок формы. Больше 50 % засора распределяется на нижних поверхностях отливок. Менее всего поражаются засором отливки, заполняемые снизу.

Небольшая вогнутость в донной части стояка (см. рис. 3.11) гасит динамический напор падающей из ковша струи и этим предупреждает размывание формы.

Ю. А. Никишин предложил конструкцию металлоприемного устройства, предназначенного для улавливания шлака, частиц футеровки и других неметаллических включений, попадающих в форму через открытую литниковую воронку. Из литниковой чаши 1 (рис. 3.14), заполненной при заливке металлом, последний сначала падает в кольцевой коллектор 2, затем протекает через радиальные щели 3 фильтрующего элемента. Благодаря выступу 4 над стояком 5 фильтрующая система является заполненной, и неметаллические частицы, как более легкие, находятся в верхней части каналов металлоприемного устройства.

Плены в сталях. При литье по выплавляемым моделям из высоколегированных пленообразующих сталей в отливках нередко образуются плены, снижающие герметичность литого металла. В работе [93], например, описан литой корпус арматуры из стали 12Х18Н9ТЛ массой $G_0 = 2,5$ кг, отливаемый по ЛПС типа V (боковая прибыль), рассчитанной на надежную пропитку тепловых узлов. Корпус при испытании гидравлическим давлением давал течь по причине шлаковых включений и плен, как первичных, образующихся на зеркале металла в ковше, так и вторичных, возникающих в форме. При изучении дефектов установлено: если плена идет с первой порцией металла, то она проникает в форму через нижний питатель и задерживается в нижнем узле; если же она идет в середине заливки, то попадает в верхний узел.

Образование вторичных плен зависит от скорости подъема расплава в форме. При температуре заливки 1600 °С и скорости подъема расплава не выше 8 мм/с образуется сплошная плена по всему зеркалу металла. При увеличении скорости до 20 мм/с и выше плена не образуется. Авторы [93] приняли, что пленообразующий металлический расплав течет в оболочке из окислов, последние непрерывно стягиваются с зеркала расплава и прижимаются к поверхности формы. Кислород получает доступ к очищенной свободной поверх-

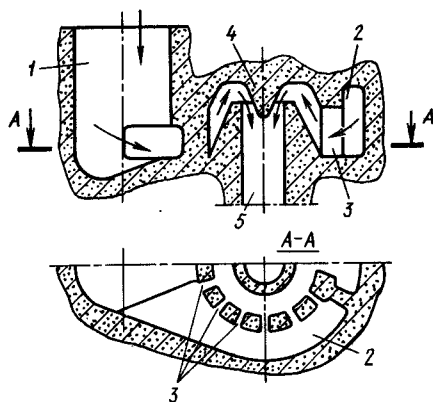


Рис. 3.14. Металлоприемное устройство с щелевым фильтром. Стрелками показано направление течения металла

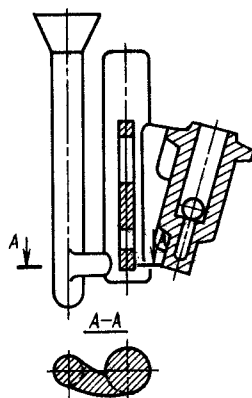


Рис. 3.15. Литниково-питающая система для деталей арматуры из пленообразующей стали

ности расплава, и плена образуется вновь. При скорости потока выше 20 мм/с скорость роста плены уравнивается скоростью разрушения ее потоком. Исходя из этих соображений и приглянув в качестве критической плену толщиной 10 мкм, авторы нашли, что для исключения брака по плене скорость поднимающегося потока в форме должна находиться в пределах 15—60 мм/с. При литье арматуры из пленообразующего сплава авторы рекомендуют применять ЛПС типа IV — сифонный коллектор (см. рис. 3.15). ЛПС рассчитывают на соблюдение принципа направленного затвердевания по методу приведенных толщин:

$$R_{\text{к. сиф}} > R_{\text{пит. щел}} > R_y, \quad (3.18)$$

где $R_{\text{к. сиф}}$, $R_{\text{пит. щел}}$, R_y — приведенные толщины соответственно сифонного коллектора, щелевого питателя и теплового узла отливки.

Между металлоприемным стояком и сифонным коллектором установлен дроссель, благодаря которому коллектор выполняет роль центробежного шлакоуловителя. Суженное сечение, расположенное в дросселе, определяют из условий обеспечения указанной выше скорости подъема зеркала расплава в форме. Детали арматуры из стали 12Х18Н9ТЛ, отлитые с применением предложенных ЛПС, не имели дефектов по усадочным раковинам, шлаку и пленам и выдерживали испытание гидравлическим давлением на 0,1—0,14 ГПа.

Плены в алюминиевых сплавах. Заливаемый открытой струей алюминиевый сплав интенсивно окисляется; образовавшиеся при этом окисные плены и включения заносятся в тело отливки, снижая плотность и механические свойства металла.

Для снижения загрязненности сплавов окислами, учитывая сравнительно невысокую температуру плавления алюминиевых сплавов, можно рекомендовать специальный способ заполнения форм через стальную трубку, предложенный В. А. Донским. В стояк

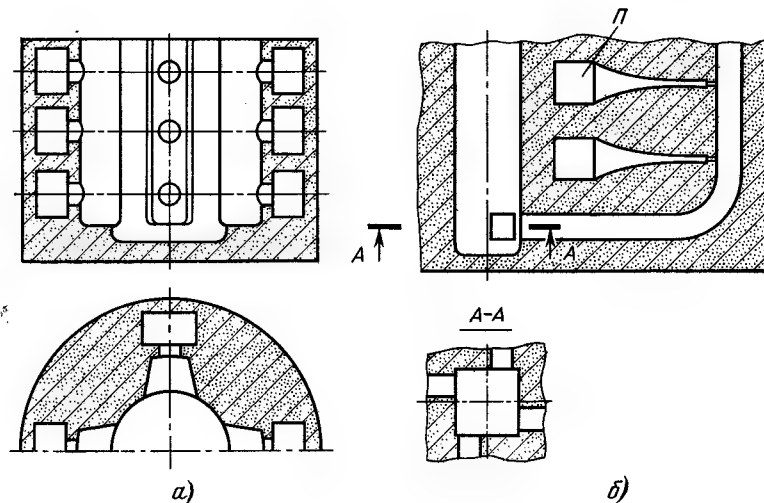


Рис. 3.16. Литниково-питающие системы при центробежном литье:

а — вертикальные коллекторы в сочетании с порционной заливкой; б — коллектор для псевдосифонного заполнения (Л — прибыль)

формы, прокаленной, а затем охлажденной до 200—250 °С, вставляют и прижимают к дну стальную трубку с литниковой воронкой, нагретую до 700—800 °С. Через несколько минут после заливки трубка поднимается на высоту 10—15 мм и отстоявшийся металл спокойно заполняет форму. Размеры стальной трубки выбирают так, чтобы в нее вместился весь расплав, предназначенный для заливки формы.

ЛПС при центробежном литье по выплавляемым моделям различают по направлению заполнения полости формы: радиальное, по касательной, псевдосифонное.

Радиальное заполнение. С помощью киносъемки вращающейся модели формы установлено, что залитый металл под действием сил инерции покоя вращается с меньшей угловой скоростью, чем форма, и втекает в радиальные каналы лишь тонкой струйкой, прижатой к набегающей стороне канала. В итоге отливки получают с окислами, пленами, недоливами и усадочными раковинами. В общем случае радиальное заполнение форм расплавом не рекомендуется. В ЧССР найдено частное решение. Порционно залитый металл в поле центробежных сил распределяется по вертикальным изолированным друг от друга коллекторам с отливками, что исключает вращение расплава в металлоприемной чаше. После выливки образуются отдельные секции отливок с коллекторами (рис. 3.16, а).

Заполнение по касательной, которая направлена противоположно вращению формы. Расплав здесь хорошо заполняет литниковые каналы и обеспечивает получение плотных отливок.

Псевдосифонное заполнение (рис. 3.16, б). Спокойное и надежное заполнение обеспечивается при поступлении расплава в рабочую

Снижение металлоемкости при увеличении ВГ на 0,1

Вариант ЛПС				Снижение металлоемкости, кг	
Исходный		При улучшении ВГ			
ВГ'	$M'_{\text{зал. о,}} \text{ кг/отл.}$	ВГ''	$M''_{\text{зал. о,}} \text{ кг/отл.}$	на одну отливку	на 1000 отливок
0,1	1	0,2	0,5	0,5	500
0,2	0,5	0,3	0,33	0,17	170
0,3	0,33	0,4	0,25	0,08	80
0,4	0,25	0,5	0,2	0,05	50
0,5	0,2	0,6	0,167	0,033	33
0,6	0,167	0,7	0,143	0,024	24

полость формы по направлению от периферии к центру. Литниковые каналы при этом заполняются сначала по касательной, а затем сифоном. После заполнения формы и затвердевания каналов те же центробежные силы обеспечивают надежное питание отливок из местных приливов, расположенных со стороны оси вращения.

Центробежным способом одновременно отливали 120 лопаток, при этом ЛПС была выполнена в виде вертикального барабана, металл в который подавался снизу через центральный стояк и радиальные литниковые ходы.

3.4. АНАЛИЗ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ

От ЛПС зависят трудоемкость изготовления отливок и деталей из них, расход металла и вспомогательных материалов, потребление электрической и других видов энергии, эффективность использования производственных площадей и оборудования. Улучшение этих факторов благоприятно отражается и на степени охраны окружающей среды. Рассмотрим три направления оптимизации ЛПС при литье по выплавляемым моделям:

сравнительный анализ вариантов по показателям с целью выявления наиболее экономичного варианта;

отработку ЛПС для исключения образования в отливках недопустимых дефектов;

нормализацию как результат обобщения ЛПС применительно к конкретной номенклатуре литых деталей и характеру их производства.

Сравнительный анализ вариантов. Производство однотипных литых деталей обычно может быть обеспечено при использовании различных вариантов ЛПС. Намечая несколько вариантов и сравнивая их между собой, можно выбрать наиболее экономичный. Варианты сравнивают по нескольким показателям.

Выход годного определяют по уравнению

$$\text{ВГ} = G_o N_o / G_{\text{ш}} \approx V_o N_o / (V_o N_o + V_{\text{л}}), \quad (3.19)$$

где G_o — масса единичной отливки, кг; $G_{\text{ш}}$ — масса шихты, кг, определяют с учетом потерь на угар; N_o — число отливок в блоке; V_o и $V_{\text{л}}$ — объемы единичной отливки и ЛПС, дм^3 , определяют по чертежу без учета коэффициента объемной усадки β или по результатам взвешивания.

В практике производства отливок по выплавляемым моделям обычно $\text{ВГ} = 0,1 \div 0,6$. Используя (3.19), можно получить выражение для относительного расхода залитого в форму металла, приходящегося на одну отливку (кг/отл.), это выражение

$$M_{\text{зал. о}} = G_o / \text{ВГ}, \quad (3.20)$$

позволит перейти к сравнению вариантов по металлоемкости.

Разность расходов залитого металла на отливку при сравнении двух вариантов ЛПС будет

$$\Delta M_{\text{зал. о}} = M'_{\text{зал. о}} - M''_{\text{зал. о}} = G_o (1/\text{ВГ}' - 1/\text{ВГ}'')$$

Здесь и далее число штрихов означает условный номер варианта. Данные табл. 3.11 иллюстрируют степень снижения металлоемкости при $G_o = 0,1$ кг и повышении ВГ всего на 0,1.

Пример 4. Поясним роль ВГ подробнее на конкретном примере уже приводившейся выше стальной детали «рамка» (см. рис. 3.12), отливаемой по ЛПС типа I (центральный стояк). Примем для этого варианта: масса отливки $G_o = 0,015$ кг, $N_o = 7 \cdot 4 = 28$ отливок в блоке; центральный стояк круглый диаметром $d_c = 30$ мм и высотой $h'_c = 202$ мм. Не учитывая брака и пренебрегая массой питателей и некоторым увеличением массы на участке воронки, получим, что масса блока при плотности стали $\rho = 7,8$ кг/дм^3 будет

$$G'_\text{л} = (\pi d_c^2 / 4) h'_c \rho = (3,14 / 4) 0,3^2 \cdot 2,02 \cdot 7,8 = 1,11 \text{ кг};$$

$$G_o N_o = 0,015 \cdot 28 = 0,420 \text{ кг},$$

откуда, при коэффициенте объемной усадки $\beta = 0,06$,

$$\text{ВГ}' = G_o N_o / [(G_o N_o + G'_\text{л}) (1 + \beta)] = 420 / [(0,420 + 1,110) 1,06] = 0,259.$$

Для второго варианта при центральном стояке того же диаметра, но высотой $h''_c = 422$ мм, параметры будут следующие: $N''_o = 17 \cdot 4 = 68$ отливок,

$$G''_\text{л} = (\pi d_c^2 / 4) h''_c \rho = (3,14 \cdot 0,3^2 / 4) 4,22 \cdot 7,8 = 2,320 \text{ кг};$$

$$G_o N''_o = 0,015 \cdot 68 = 1,020 \text{ кг};$$

$$\text{ВГ}'' = G_o N''_o / [(G_o N''_o + G''_\text{л}) (1 + \beta)] = 1,02 / [(1,02 + 2,32) 1,06] = 0,288.$$

Соответственно металлоемкости по вариантам составят

$$M'_{\text{зал. о}} = G_o / \text{ВГ}' = 0,015 / 0,259 = 0,058 \text{ кг/отл.};$$

$$M''_{\text{зал. о}} = G_o / \text{ВГ}'' = 0,015 / 0,288 = 0,052 \text{ кг/отл.}$$

Вариант 2 экономичнее по металлоемкости в сравнении с вариантом 1 на

$$\Delta M_{\text{зал. о}} = M'_{\text{зал. о}} - M''_{\text{зал. о}} = 0,058 - 0,052 = 0,006 \text{ кг/отл.},$$

т. е. на 40 % массы отливки.

Показатель ВГ достаточно хорошо отражает металлоемкость ЛПС без учета брака. Это позволяет сравнивать варианты до реализации их в производстве. Однако ВГ недостаточно полно отражает металлоемкость ЛПС с учетом брака или изменения G_o . В самом деле, из

формулы (3.19) следует, что ВГ может быть улучшен путем снижения не только удельной массы ЛПС, но и массы бракованных отливок, как в рассматриваемом примере с деталью «рамка», или путем задания излишних напусков и припусков на механическую обработку.

Отметим попутно, что увеличение высоты стояка закономерно приводит к снижению трудоемкости изготовления отливок благодаря следующему:

сокращению числа необходимых стояков и числа спаев при звеньевой сборке моделей. Если число стояков при варианте 1 принять за 100 %, то при варианте 2 их потребуется лишь ~17 %.

меньшему падению температуры металла в период заливки, так как сокращается число переносов ковша от формы к форме. При емкости ковша 35 кг потребуется блоков

$$N'_B = 35/(0,420 + 1,110) = 23 \text{ блока на ковш};$$

$$N''_B = 35/(1,020 + 2,320) = 11 \text{ блоков на ковш};$$

меньшему числу установок блока с отливками на станок для их отрезки; отношение числа установок в вариантах 1 и 2 равно 100 к 17 по числу необходимых блоков.

Коэффициент выхода отливок, определяемый как отношение числа годных отливок N_r к числу залитых N_o ,

$$KBO = N_r/N_o. \quad (3.21)$$

В примере с отливкой «рамка» принято, что абсолютная высота нижнего и верхнего участков стояка с дефектными отливками не зависит от общей высоты стояка, т. е. общее число бракованных отливок в блоке для обоих вариантов одинаково

$$N_{Br} = N'_{Br} = N''_{Br} = 20 \text{ отливок},$$

КВО вариантов будет соответственно равно

$$KBO' = N'_r/N'_o = 8/28 = 0,286;$$

$$KBO'' = N''_r/N''_o = 48/68 = 0,706.$$

При анализе КВО следует иметь в виду, что брак отливок в большинстве случаев может быть отнесен не только за счет ЛПС, но и определяется особенностями технологического процесса литья и технологичностью отливки с учетом сплава. В примере, взятом из производственной практики, толщина стенки «рамки» с учетом ее протяженности находится в предельной области.

Коэффициент использования залитого в форму расплава

$$КИР = G_d N_o KBO / (G_o N_o + G_l), \quad (3.22)$$

где G_d — масса единичной детали, кг.

КИР не следует смешивать с более общим показателем — коэффициентом использования металла КИМ, равным отношению массы готовой механически обработанной литой детали к норме расхода металла, в которой учитываются, с одной стороны, безвозвратные потери, с другой — возврат литников и отходов в шихту. Вместе с тем, очевидно, что КИР влияет на КИМ.

В нашем примере для обоих вариантов при массе детали $G_d = 0,013$ кг имеем

$$КИР' = G_d N'_o KBO' / (G_o N'_o + G_l) = 0,013 \cdot 28 \cdot 0,286 / (0,015 \cdot 28 + 1,110) = 0,068,$$

$$КИР'' = G_d N''_o KBO'' / (G_o N''_o + G_l) = 0,013 \cdot 68 \cdot 0,706 / (0,015 \cdot 68 + 2,320) = 0,187.$$

Таким образом, анализ позволил выявить возможность повышения КИР в 2 раза и более по сравнению с реально использованным вариантом 1.

КИР по аналогии с ВГ дает возможность вычислить расход металла, залитого в форму, на деталь:

$$M_{зал. д} = G_d / КИР. \quad (3.23)$$

Для детали «рамка» имеем

$$M'_{зал. д} = G_d / КИР' = 0,013 / 0,068 = 0,193 \text{ кг/деталь};$$

$$M''_{зал. д} = G_d / КИР'' = 0,013 / 0,187 = 0,069 \text{ кг/деталь}.$$

Соответственно, снижение расхода залитого металла (кг/деталь) при сравнении вариантов будет

$$\Delta M_{зал. д} = G_d (1/КИР' - 1/КИР'').$$

Второй вариант в примере дает снижение на 0,124 кг/деталь, т. е. больше массы самой детали более чем в 9 раз.

При $G_d = \text{const}$ повышению КИР способствует также уменьшение массы отливки путем сокращения припусков на механическую обработку и напусков.

Коэффициент использования площадей, кг/м²

$$КИП = G_o N_o KBO / S_B, \quad (3.24)$$

где S_B — площадь блока отливок с ЛПС в плане, считая по габаритным размерам, м².

В рассматриваемом примере при диаметре блока $d_B = 0,128$ м имеем $S_B = 0,013$ м², откуда

$$КИП' = G_o N'_o KBO' / S_B = 0,015 \cdot 28 \cdot 0,286 / 0,013 = 9,3 \text{ кг/м}^2;$$

$$КИП'' = G_o N''_o KBO'' / S_B = 0,015 \cdot 68 \cdot 0,706 / 0,013 = 55,6 \text{ кг/м}^2.$$

Анализ вариантов в данном случае позволил найти решение для сокращения необходимой площади в 6 раз, в том числе для сокращения площади рабочего пространства прокаточных печей и транспортных средств. Результаты расчета сведены в табл. 3.12, из которой видно, что вариант 2, несмотря на небольшое усовершенствование, дает более экономичное использование трудозатрат, металла и площадей.

Укажем также на работу [35], где решена на ЭВМ задача, включающая расчеты: оптимального расположения и числа моделей в блоке; масс отливок и стояков; коэффициента выхода отливок. Сроки разработки технологических процессов сокращены в 15 раз.

Отработка ЛПС. Даже тщательно спроектированная ЛПС требует доработки по результатам изготовления пробных отливок. При отработке технологического процесса следует исходить из того, что ЛПС с отливкой данного наименования представляет собой уникальный комплекс, в котором небольшие, на первый взгляд, изменения размеров могут существенно отразиться на качестве отливки. От-

Таблица 3.12

Результаты сравнения вариантов для отливки «рамка»

Показатель	Вариант ЛПС		Эффект
	1	2	
Диаметр стояка, мм	30	30	—
Высота стояка, мм	202	424	—
Число отливок в блоке:			
всего	28	68	+40
годных	8	48	+40
ВГ	0,259	0,288	+0,029
Заливается из одного ковша вместимостью 35 кг:			
блоков	23	11	—12
годных отливок	176	480	+304
КВО	0,286	0,706	+0,420
КИР	0,068	0,187	+0,119
Металлоемкость, кг:			
отливки $M_{\text{зал.о}}$	0,058	0,052	—0,006
детали $M_{\text{зал.д}}$	0,193	0,069	—0,124
КИП, кг/м ²	9,3	55,6	+46,3

метим некоторые практические приемы, направленные на устранение характерных дефектов в отливках.

Недоливы — это незаполнение металлом участков тонких сечений и кромок. При обнаружении систематических недоливов прежде всего следует увеличить скорость заливки путем увеличения площади суженного сечения f_0 или гидростатического напора H_p в этом сечении (см. формулу (3.15)). Нередко недостаточная скорость заливки предопределяется малым верхним диаметром литниковой воронки, когда рабочий-залищик вынужден притормаживать подачу металла во избежание его выплескивания из литниковой воронки. Это же явление может наблюдаться, если угол конусности воронки более 60°. В некоторых случаях скорость нарастания гидростатического напора в суженном сечении удается увеличить путем создания местных суженных сечений по высоте центрального стояка или боковой прибыли (см. табл. 3.9).

Для исключения недоливов можно также повышать температуру литейной формы непосредственно перед заливкой, например, путем увеличения температуры прокаливании форм, сокращения продолжительности выстаивания форм в период от выдачи из прокаточной печи до заливки, применения теплоизолирующих слоев формы.

В отдельных случаях, когда стенки отливки или кромки лопаток чрезмерно тонки, и имеющиеся в цехе возможности повышения начальной температуры формы исчерпаны, необходимо увеличить толщину стенок и кромок в возможных пределах.

Усадочные раковины проявляются обычно в виде концентрированных пустот, осевой рыхлости или рассеянной пористости. Учитывая, что объемная усадка является органическим свойством затвердева-

ющего металла, желательно не ограничиваться визуальным осмотром пробных отливок, а провести контроль, например, просвечиванием их рентгеновскими лучами.

Если для устранения усадочной раковины прибегают к увеличению размеров прибыли, то необходимо следить, чтобы при этом был исключен дополнительный обогрев теплового узла отливки. В противном случае более мощная прибыль может не только не дать желаемого эффекта, но и вызвать усиление усадочной раковины в отливке. Поэтому с увеличением прибыли необходимо одновременно несколько отдалить ее от отливки путем удлинения шейки. Даже при достаточной по объему прибыли, если она расположена слишком близко к теплового узлу отливки, затвердевание этого узла замедляется и часть усадочной раковины проникает в отливку.

Сокращение объема усадочной раковины в отливке может быть достигнуто за счет замедления процесса затвердевания отливки. Покажем это на примере ГАЗа [91]. В цехе точного литья на детали «коромысло клапана» из стали 45 брак по усадочным раковинам был сокращен на 30—40 % благодаря применению форм с малотеплопроводным слоем покрытия, содержащего пеностекло. Этот слой наносился поверх обычной пятислойной этилсиликатной оболочки и в процессе обжига литейных форм вспенивался с увеличением толщины слоя с 0,8—1 до 2,3—5,6 мм. В результате затвердевание отливки замедлилось и питание ее осуществлялось более полно.

В отдельных случаях при сравнительно небольших размерах нижних тепловых узлов избежать образования усадочной раковины удается применением холодильников. В некоторых крупных отливках с протяженными стенками возникновение местной осевой рыхлости оказывается неизбежным или требует применения чрезмерно развитых ЛПС. В этих случаях иногда возможно допустить наличие местной осевой рыхлости, не выходящей на поверхность отливки.

Неметаллические включения могут заноситься в форму при заполнении ее потоком высокой турбулентности, характеризующейся известным числом Рейнольдса

$$Re = \bar{v}4R/\nu, \quad (3.25)$$

где $\bar{v}$ — средняя линейная скорость потока расплава, м/с; $\bar{v} = \sqrt{2gH_p}$; R — гидравлический радиус, $R = f/P$ (f — площадь живого сечения потока; P — смоченный периметр); ν — кинематическая вязкость, для сталей, медных и алюминиевых сплавов в первом приближении $\nu = 6 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Имеется

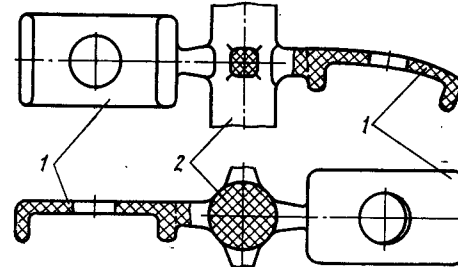


Рис. 3.17. Влияние ориентации отливки в форме на коробление выплавляемых моделей
1 — модель; 2 — стояк

Таблица 3.13

Рекомендации по нормализации ЛПС

Нормализуемый фактор		Тип про-извод-ства *	Масса единичной отливки, кг (по стали)			
Объект	Параметр		≤0,5	>0,5—2	>2—8	>8
Тип ЛПС		О, С	I—IV		I—III, VI, VII	V, VI, VIII
		М	I, II		—	
Блок отливок	Высота, мм	О, С	≥400 **	≥400 **	≥400 ** и индивидуально	Индивидуально
		М				
	Ширина в плане, мм	О, С	По размерам нормализованной оснастки и приспособлений		Ограниченно	
		М				
Центральный стояк	Форма сечения	О, С	Круглая		—	
		М	Экономически целесообразная			
	Высота с литниковой воронкой, мм	О, С	≥400 **	≥400 **	—	
		М				
Прибыль	Конструкция и размеры	О, С, М	—		С учетом конкретной номенклатуры отливок	
	Диаметр выпора	О, С, М			0,3—0,35 от верхнего основания прибыли	
Литниковая воронка	Конструкция	О, С, М	Конусная с углом при вершине 55—60°			
	Диаметр верхнего сечения	О, С, М	По табл. 3.10			
Зумпф	Высота, мм	О, С, М	30—40			

* О — опытное; С — серийное; М — массовое.

** По высоте рабочего пространства печей для прокаливания форм.

в виду, что расплав к концу заполнения формы имеет температуру не менее чем на 20 °С выше температуры ликвидуса и представляет собой ньютоновскую жидкость, вязкость которой не зависит от уровня внутренних напряжений.

Уровень поражения отливок неметаллическими включениями может быть снижен путем сокращения Re в 1,2—1,5 раза. При этом во избежание увеличения брака отливок по недоливу и усадочной раковине, необходимо соблюдать удельную скорость заливки $Q_{зал}$ в соответствии с формулой (3.11). Проверка показала, что при отработанной технологии условные значения Re, рассчитанные по скорости подъема расплава в полости формы соответствующей отливке, обычно не превышают 2300.

Коробление отливок. При этом виде дефекта влияние ЛПС носит частный характер; приведем пример из производственной практики. При горизонтальном расположении модели (рис. 3.17) более 50 % их прогибалось под действием силы тяжести. Изменением положения модели на вертикальное этот вид дефекта был исключен.

Нормализация ЛПС при литье по выплавляемым моделям в значительной мере определяется массой единичной отливки (табл. 3.13). В мелкосерийном и опытном производстве нормализация позволяет ограничиться небольшим парком универсальных пресс-форм для ЛПС. Некоторый перерасход модельного перепада и металла при этом компенсируется снижением стоимости оснастки и более быстрым освоением производства новой номенклатуры отливок.

Для отливок массой до 1 кг целесообразно применять ЛПС в виде центральных стояков, в том числе с отходящими от них горизонтальными коллекторами (типы I и II).

В массовом производстве небольших отливок экономия на стоимости технологической оснастки меньше. Для снижения себестоимости продукции здесь основное значение имеет сокращение расхода материалов и времени на сборку модельных блоков, изготовление форм и отрезку отливок. Поэтому в массовом производстве более рационально применять индивидуальные ЛПС, у которых нормализуют отдельные элементы: литниковые воронки, центральные стояки с учетом применения металлических каркасов единого типоразмера, обеспечивающие рациональное и эффективное использование технологического оборудования и нормализованной оснастки (см. также ГОСТ 19551—74 — ГОСТ 19568—74).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

Формы для изготовления выплавляемых моделей называют пресс-формами. Они должны отвечать следующим основным требованиям: обеспечивать получение моделей с заданной точностью и чистотой поверхности; иметь минимальное число разъемов при обеспечении удобного и быстрого извлечения моделей; иметь устройства для удаления воздуха из рабочих полостей; быть технологичными в изготовлении, долговечными и удобными в работе.

Все пресс-формы можно классифицировать по признакам, приведенным в табл. 4.1 (составлена Я. И. Шкленником).

Выбор типа пресс-формы обусловлен в основном характером производства (опытное, серийное, массовое), а также требованиями, предъявляемыми к отливкам по точности размеров и чистоте поверхности. При крупносерийном, а особенно при массовом производстве следует применять стальные пресс-формы, изготовленные механической обработкой. В таких пресс-формах за одну запрессовку получают звено моделей с готовой частью литниковой системы.

Анализируя целесообразность изготовления сложной и дорогостоящей многогнездной пресс-формы, необходимо исходить из себестоимости отливок, которые можно получить за период нормальной эксплуатации пресс-формы. В массовом производстве высокая стоимость такой пресс-формы окупается быстрее, чем стоимость нескольких более дешевых одногнездных пресс-форм.

При серийном производстве отливок рекомендуется изготавливать пресс-формы по эталону, из металлических легкоплавких сплавов, пластмассы или методом металлизации. В таких пресс-формах можно изготовить до нескольких тысяч моделей с удовлетворительной точностью.

При единичном и мелкосерийном производстве используют цементные, гипсовые и деревянные пресс-формы, в которых можно получить до 200 моделей. Такие пресс-формы целесообразно применять для отработки элементов литниковой системы и определения величины усадки перед изготовлением многогнездных пресс-форм.

При необходимости получения точных и сложных отливок выбирают одногнездные пресс-формы, изготовленные механической обработкой, даже если отливок требуется небольшое количество. При изготовлении очень сложных по конфигурации моделей используют эластичные пресс-формы, выполненные из формопласта, ви-

Таблица 4.1

Классификации пресс-форм для изготовления выплавляемых моделей

Признак	Группа пресс-форм	Область применения
Точность	С высокой точностью размеров (до качества 8 по СТ СЭВ 144—75) С точными размерами (до качества 12 по СТ СЭВ 144—75) С четким воспроизведением контуров эталона	Турбинные лопатки, роторные колеса и другие детали высокой точности Производство деталей общего машиностроения и инструментов Художественное литье
Сложность	Простые, средней сложности, сложные	В зависимости от сложности отливок, степени механизации, числа гнезд в пресс-форме
Материал пресс-форм	Неметаллические: пластмассовые, гипсовые, цементные, резиновые, деревянные Металлические: свинцово-оловянные, цинковые, алюминиевые, стальные Комбинированные (в основном с металлическими вставками)	Единичное и мелкосерийное производство Серийное и массовое производство Мелкосерийное и серийное производство
Способ изготовления пресс-форм	Изготовление по мастер-модели: литьем, напылением, гальванопластикой Механически обработанные из алюминиевых сплавов и сталей Комбинированные	При отработке процесса, специальные случаи, художественное литье, мелкосерийное производство Массовое и серийное производство деталей машин Серийное производство деталей машин
Способ заполнения модельным составом	Свободная заливка Заливка под давлением Заполнение под давлением па-стообразным модельным составом	Производство элементов литниковой системы и полых моделей Изготовление полых и сплошных моделей Изготовление моделей и модельных звеньев
Способ охлаждения	В окружающей среде (на воздухе), в воде Водой, протекающей по каналам в стенках пресс-форм	Единичное и серийное производство Массовое производство
Механизация	Ручные Механизированные Автоматизированные	Единичное и мелкосерийное производство Серийное и массовое производство Массовое производство

Признак	Группа пресс-форм	Область применения
Число одновременно получаемых моделей	Одноместные (одногозедные)	Единичное и серийное производство крупногабаритных и сложных моделей
	Многоместные (многогнездные)	Массовое производство
Положение плоскости разреза	С вертикальным разъемом С горизонтальным разъемом	Пресс-формы для автоматов Ручные и механизированные пресс-формы

ксинта или резины. В этом случае к отливкам нельзя предъявлять жестких требований по точности, так как получают в основном лишь четкое воспроизведение моделью контуров полости пресс-формы.

4.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

Пресс-форму проектируют на основании чертежа отливки, который составляет технолог-литейщик по чертежу детали. На чертеже указывают плоскость разреза пресс-формы, припуски на обработку, базовую поверхность, место подвода металла, размеры элементов литниковой системы (обычно питателей) и технические требования, предъявляемые к отливке.

Если проектируют многогнездную пресс-форму, вычерчивают звено моделей. При разработке его чертежа следует учитывать максимальное размещение моделей в одном звене.

Конструкция блока моделей должна обеспечивать его прочность, надежное питание отливок, удобство отделения последних от стояка. На конструкцию блока моделей оказывает влияние способ прокаливания будущих оболочек. При прокаливании в наполнителе блок выполняют компактным с малыми расстояниями между моделями. Прокаливание незаформованного блока требует более разреженного расположения моделей для равномерного прогрева всех элементов блока. В противном случае из-за температурного перепада на оболочках появятся трещины.

Размеры полости пресс-форм. Пока еще нет способа расчета полости пресс-форм, который бы гарантировал получение отливок размерами, отвечающими чертежу. В зависимости от принятой технологии колеблется усадка модельного состава и металла, изменяется расширение оболочковой формы. Изменение этих величин зависит от модельного состава, материала формы, способа уплотнения наполнителя, вида и температуры заливаемого металла, а также от геометрической формы самой детали и расположения ее в литейном блоке.

Этим объясняется широкий диапазон значений усадки, приводимых различными авторами,

Для практических целей можно привести лишь отдельные обобщенные данные с некоторыми рекомендациями. Как правило, суммарная усадка модельного состава и металла больше, чем расширение оболочки при прокаливании. Усадка на «охватываемых» частях отливки по абсолютному значению больше, чем на «охватывающих» частях и менее стабильна. С увеличением размеров отливки суммарная усадка увеличивается. Для предварительных расчетов в случае использования форм из кристаллического кварца можно принять среднюю усадку, %: 1,45 для углеродистых сталей; 1,35 для конструкционных легированных сталей; 1,5 для специальных (коррозионно-стойкой, стали Гатфильда, жаропрочных) сталей; 1,15 для медных сплавов; 1,2 для силуминов; 0,6 для серого чугуна и 1,0 для ковкого чугуна.

Большую трудность представляет разработка чертежа с учетом усадки таких ответственных деталей, как сопловые лопатки и турбинные колеса. Для получения более полного соответствия расчетных и действительных величин усадку по профилю лопаток рассчитывают графическим путем [41].

Затруднения при расчетах полостей пресс-формы вызывают необходимость изготовления их с учетом возможности дальнейшей доводки. При этом детали пресс-формы, оформляющие «охватываемые» (наружные) части отливок, проектируют уменьшенных размеров, а «охватывающие» (внутренние) части — увеличенных размеров с тем, чтобы при доводке пресс-формы оставался известный запас материала для снятия стружки. В противном случае необходимо наращивать элементы пресс-форм, что сделать очень трудно.

Шероховатость поверхности пресс-формы. Формообразующие поверхности пресс-форм, изготавливаемых на металлорежущих станках, необходимо полировать. Сопрягаемые поверхности пресс-форм (стыковые), поверхность штырей, втулок, колодок и других подвижных частей следует выполнять с шероховатостью $Ra = 1,25 \div 0,63$ мкм; поверхности, образующие литниковую систему, — с $Ra = 2,5 \div 1,6$ мкм; остальные нерабочие части пресс-форм можно выполнять с $Rz = 40 \div 10$ мкм.

Для получения требуемой поверхности формообразующих полостей в литых пресс-формах, изготавливаемых по эталону, последний необходимо полировать, если он выполнен из металла, или шлифовать наждачной бумагой и лакировать, если он выполнен из дерева.

4.2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРЕСС-ФОРМЫ

Наиболее широко применяют пресс-формы, изготавливаемые на металлорежущих станках, так как они точны, надежны в работе и их использование позволяет полностью автоматизировать процессы сборки и разборки с извлечением звеньев моделей. В них смонтированы пневмопривод и внутреннее принудительное охлаждение.

На автоматах обычно устанавливают пресс-формы с вертикальным разъемом. Пресс-формы с горизонтальным и вертикальным разрезами работают по одному принципу, они различаются лишь

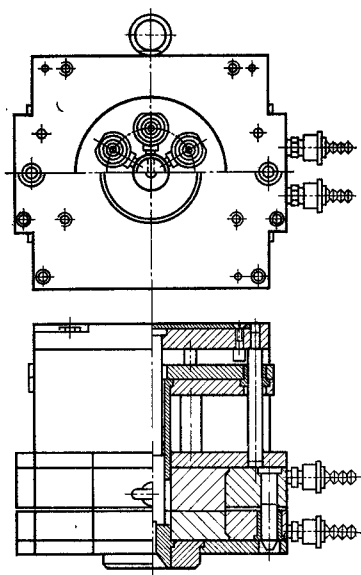


Рис. 4.1. Пресс-форма с вертикальной плоскостью разреза из стандартных деталей

отдельными конструктивными элементами. Пресс-формы устанавливают на вращающихся столах с приводом и централизованным подводом и отводом воды для охлаждения.

Пресс-форма — сложный дорогостоящий инструмент, состоящий из множества элементов, основными из которых являются: матрицы и обоймы (подвижные и неподвижные), стержни и устройства для их извлечения (копиры пальцевые, диски, наклонные штыри), приспособления опережения выталкивания моделей, толкатели и контролкатели, разнообразные плиты и элементы для охлаждения пресс-форм.

В пресс-формах последних конструкций предусмотрены устройства для регулирования давления модельного состава с помощью отсекающего механизма. Специфические элементы имеют пресс-формы для изготовления моделей из пенопластов, например пенополистирола.

В пресс-формах сложной конструкции используют дополнительные части: приспособления возврата выталкивателей, пересекающихся стержнями; реечные приспособления для извлечения стержней и др.

Многогнездные пресс-формы с вертикальной плоскостью разреза. В массовом производстве пресс-формы этого типа наиболее предпочтительны, что объясняется более простым решением автоматизации их сборки и разборки и исключением ручной операции съема готовых звеньев моделей.

Разработаны стандарты (ГОСТ 19947—74 — ГОСТ 19999—74) на пресс-формы для выплавляемых моделей, устанавливаемые на автоматы для изготовления модельных звеньев. На рис. 4.1 показана конструкция пресс-формы из стандартных деталей.

В ходе освоения пресс-форм выявлены новые требования к их конструкциям, особенно в условиях массового производства. Это привело к использованию на заводах некоторых отличных от принятых в стандартах новых конструктивных решений. Например, применен обратный клапан, отсекающий модельный состав в пресс-форме (рис. 4.2), что позволяет поддерживать оптимальное давление в затвердевающих моделях и этим стабилизировать их размеры.

Головка шприца 4 торцом упирается в штангу 3, которая поворачивает рычаг 2 против часовой стрелки. Второй конец рычага тол-

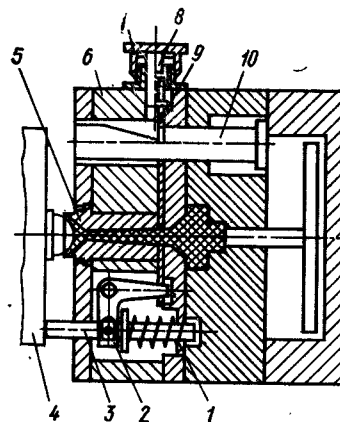


Рис. 4.2. Отсекатель модельного состава

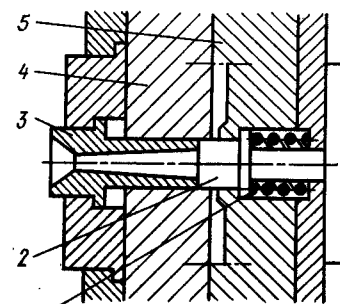


Рис. 4.3. Пастоперекрыватель

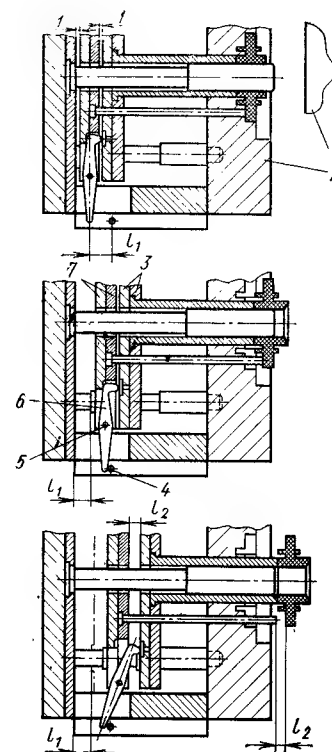


Рис. 4.4. Приспособление опережения выталкивания моделей

кает заслонку вверх до совмещения отверстия заслонки с каналом 5 литниковой втулки, установленной в подвижной матрице 6 пресс-формы. Модельная масса запрессовывается в пресс-форму. При отходе головки шприца от пресс-формы штанга 3 возвращается в исходное положение под действием пружины 1. Рычаг 2 поворачивает заслонку 9 в первоначальное положение, и заслонка перекрывает отверстие канала. При раскрытии пресс-формы заслонка 9 по скосу штанги 10 поднимается, открывая канал 5.

Избыточное давление замешанного в модельный состав воздуха до извлечения модели из пресс-формы сбрасывается благодаря неполному перекрытию канала 5 во втулке заслонкой 9. Через образованную таким образом щель удаляется воздух, при этом модельный состав из пресс-формы не вытекает. Величину щели регулируют вращением колпака 7, который передвигает ограничитель 8 и заслонку 9. Для фиксирования положения колпака на корпусе нанесены деления, а на колпаке 7 имеется стрелка-указатель.

В ПО ЗИЛ в однозвеньевых пресс-формах применяют пастоперекрыватель простой конструкции, без регулирования давления

воздуха (рис. 4.3). Модельный состав запрессовывают через канал подвижной втулки 3, которая под действием головки шприца перемещается до упора в плиту 4. Подвижной стержень 2 отходит вправо, сжимая пружину 1 и открывая каналы в плите 5, по которым модельный состав поступает в полость пресс-формы. После отвода головки шприца детали 2 и 3 возвращаются пружиной в исходное положение.

Для предотвращения повреждения звеньев моделей о толкатели при падении из пресс-формы в бак с водой, в ПО ЗИЛ применен простой и надежный механизм. При раскрытии пресс-формы (рис. 4.4) подвижная матрица 1 отходит от неподвижной 2. Толкатели, упираясь в плиты 7 выталкивателей, перемещают их, а вместе с ними перемещают плиты 3. Пройдя ход l_1 , обеспечивающий выталкивание звена из неподвижной матрицы, рычаг 6 упираясь одним концом в упор 4, вращается вокруг оси 5 и другим концом сообщает опережающее дополнительное движение плитам 3, выдвигая их на ход l_2 . На это же расстояние центральная выталкивающая втулка отбрасывает звено моделей от толкателей.

Для увеличения производительности в ПО ЗИЛ применяют двухсекционные пресс-формы (рис. 4.5). При малых размерах звеньев и их компактном размещении модельный состав запрессовывают через единый канал с пастоперекрывателем. Предотвращение им вытекания модельного состава из пресс-формы способствует поддержанию давления во время затвердевания моделей и уменьшению усадочных дефектов в них. Модельный состав подается к звеньям через общий канал сечением 4×2 мм. В двухзвневой пресс-форме оба механизма коллективного перемещения стержней могут иметь либо один общий привод, либо два автономных привода — по одному на каждый механизм. В первом случае дисковые копиры обоих механизмов соединены между собой зубчатым зацеплением

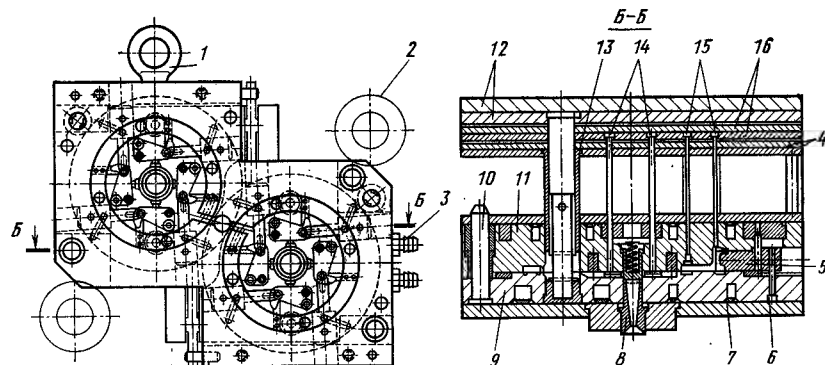


Рис. 4.5. Двухсекционная пресс-форма:

1 — рым-болт; 2 — направляющие колонки постаментов; 3 — штуцер для подвода воды; 4 — плиты толкателей центральных втулок секций; 5 — выдвижной стержень; 6 — фиксатор выдвижного стержня; 7 — система охлаждения; 8 — втулка подвода модельной массы; 9 — подвижная матрица; 10 — направляющая колонка; 11 — неподвижная матрица; 12 — опорные плиты; 13 — толкатель центральной втулки секции; 14 — толкатель питателей; 15 — толкатели моделей; 16 — плиты толкателей моделей

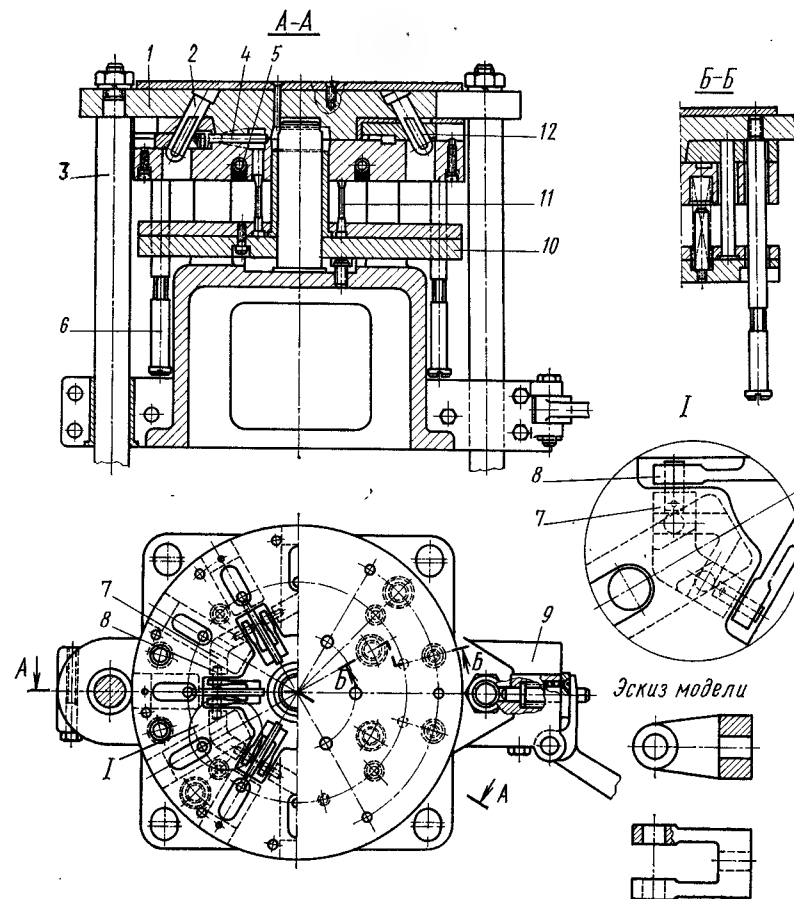


Рис. 4.6. Пневматическая пресс-форма с удалением стержней наклонными пальцами

и вращаются в противоположных направлениях. Второй вариант предпочтительнее, так как стандартизованные приводы несут меньшую нагрузку.

Многогнездные пресс-формы с горизонтальной плоскостью разъема. Пресс-формы этого типа сравнительно редко применяют на автоматах для изготовления выплавляемых моделей. Механизация сборки и разборки таких пресс-форм осуществляется различными способами. На рис. 4.6 показан один из них.

Пресс-форму устанавливают на специальном постаменте, на котором смонтирован пневмоцилиндр. С помощью рукоятки штока пневмоцилиндра поднимает или опускает плиту с закрепленными на ней двумя штоками 3. После запрессовки и остывания модельного состава штоки 3 поднимают верхнюю матрицу — крышку 1, в которой

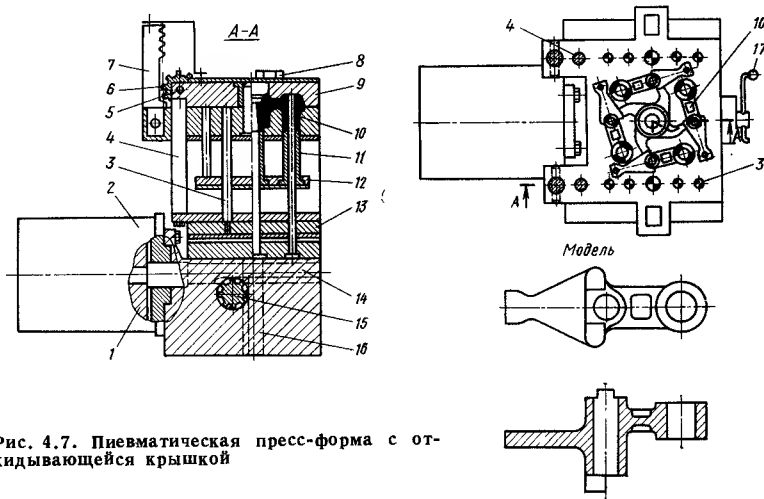


Рис. 4.7. Пневматическая пресс-форма с откидывающейся крышкой

установлены наклонные пальцы 2. Последними выдвигаются стержни 4. Стержни 8 удаляют также наклонными пальцами 2, которые приводят в движение ползуны 12, а те, в свою очередь, ползуны 7, с вмонтированными в них стержнями (узел 1). При дальнейшем подъеме штоков 3 тяги 6, которые укреплены в крышке пресс-формы (сечение Б—Б), подхватывают плиту 10 с толкателями 11 и выталкивают звенья моделей. В пресс-форме применено охлаждение водой, проходящей по трубкам 5. Для безопасности работы в пресс-форме предусмотрено специальное фиксирующее устройство 9, удерживающее подвижные части пресс-формы в верхнем положении при удалении звеньев моделей.

Недостатком пресс-форм рассмотренной конструкции является неудобство очистки и смазывания рабочих полостей, расположенных в крышке пресс-формы.

Указанного недостатка нет в пресс-формах с откидывающейся крышкой (рис. 4.7). Схема ее работы следующая. После запрессовки модельного состава через втулку 8 с пастоперекрывателем и охлаждения моделей 10 приступают к раскрытию пресс-формы. Для этого поворотом рукоятки 17 впускают сжатый воздух в цилиндр 2. При движении поршня 1 влево с помощью соединенной со штоком рейки 14 вращается зубчатый валик 15. В свою очередь, валик входит в зацепление с рейкой стержня 16, который при движении вверх поднимает плиту 13, соединенную с крышкой 9 пресс-формы посредством стоек 4. Для равномерного съема крышки в плите 13 укреплены толкатели 3. При дальнейшем движении плита 13 упирается в плиту 12, в которой укреплены съемники 11 моделей. В крышке пресс-формы жестко закреплены зубчатые колеса 6, которые входят в зацепление с рейкой 7, откидывают крышку вокруг оси 5, давая возможность снять вытолкнутое из пресс-формы звено моделей.

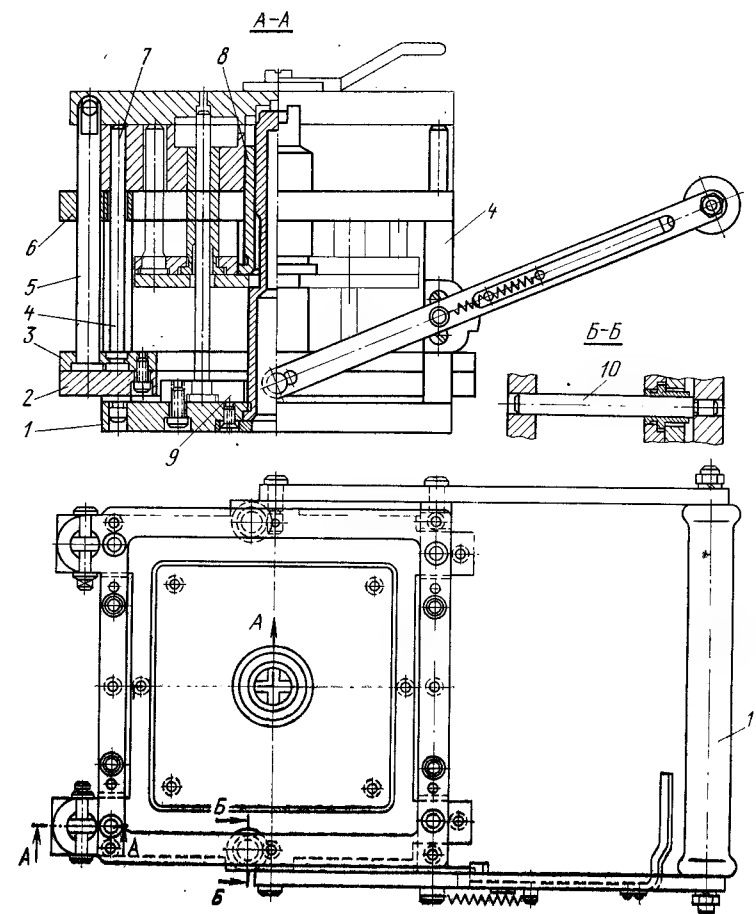


Рис. 4.8. Пресс-форма с ручным обслуживанием:

1 — основание; 2 — плита поджимная; 3 — плита подъемная; 4 — стойки; 5 — колонка; 6 — рама; 7 — контроллятор; 8 — трубчатый толкатель; 9 — плита стержней; 10 — колонка направляющая; 11 — узел подъема подъемной плиты с фиксатором

После прочистки отверстия для шприцевания и смазывания полости пресс-формы поршень возвращается в крайнее положение, затем происходит сборка пресс-формы.

В случае, когда при крупносерийном, а иногда и массовом производстве, автоматы не используются, применение пресс-форм с горизонтальной поверхностью разбега облегчает сборку и разборку их оператором вручную (рис. 4.8).

Сложные одногнездные пресс-формы. Наиболее производительный метод изготовления звеньев моделей в многогнездной пресс-форме применим для относительно простых и небольших моделей. Имеются детали больших размеров или модели очень сложной конфигурации, которые можно изготовить только в одногнездных пресс-

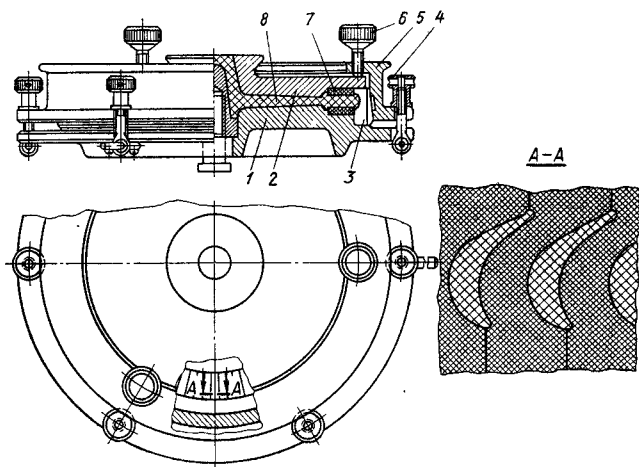


Рис. 4.9. Комбинированная пресс-форма для ротора со вставными вкладышами

формах. Высокие требования, предъявляемые к таким деталям, обуславливают изготовление пресс-формы механической обработкой.

К фасонным деталям, имеющим сложные очертания и глубокие внутренние криволинейные полости, относят, например, отдельные лопатки турбин и пакеты лопаток, турбинные колеса, детали сопловых аппаратов.

В некоторых случаях конфигурация детали настолько сложна, что получить выплавляемую модель в одной пресс-форме вообще невозможно. Тогда изготавливают несколько пресс-форм. Модель получают по частям и затем собирают с помощью пайки. При таком процессе изготовления моделей упрощается конструкция пресс-форм и снижается их стоимость, но он трудоемок и не обеспечивает требуемой точности. Для достижения высокой технологичности, повышения точности моделей, а часто — для получения полостей, которые невозможно выполнить извлекаемыми из модели металлическими стержнями, применяют устанавливаемые в пресс-форму перед запрессовкой модельного состава карбамидные или керамические стержни.

На рис. 4.9 показана пресс-форма, состоящая из матрицы 1 и крышки 2, между которыми помещен кольцевой бандаж 3. Эти три части закрепляют обоймой 4 с помощью винтов 5 и 6. В пресс-форму проставляют стержни из карбамида или керамики 7, затем пресс-форму собирают и в нее запрессовывают модельный состав 8. Стержни изготавливают в другой пресс-форме (рис. 4.10), состоящей из двух корпусов 1 и 2, в которых закреплены вкладыши 3 и 4. Фиксируют корпуса штырями 5 и закрепляют винтами 6 с гайкой 7. Карбамид или керамическую массу заливают через отверстие в крышке 9, на которую установлен стакан 8.

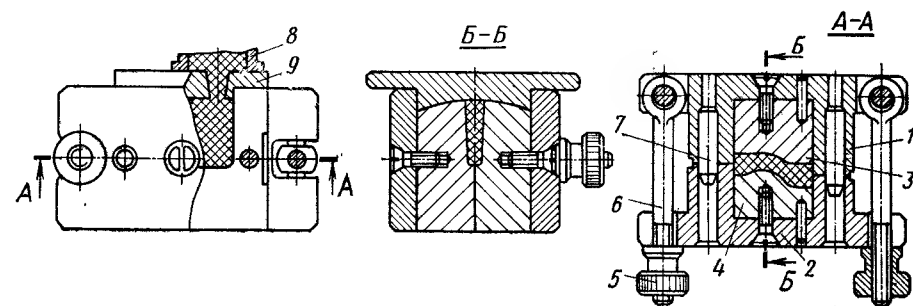


Рис. 4.10. Пресс-форма для изготовления стержней

Если конфигурация модели позволяет использовать одну пресс-форму для получения всех неметаллических стержней, то следует применять именно такой способ, так как он обеспечивает наибольшую точность отливки. На рис. 4.11 показаны пресс-форма для изготовления ротора, в которой контуры лопатки оформляются одинаковыми растворимыми (карбамидными) стержнями, получаемыми в одной пресс-форме, и готовая модель ротора после растворения в воде карбамидных стержней.

Пресс-формы для получения моделей из пенополистирола. Пресс-формы могут быть одноместными, многоместными и звеньевыми. Они имеют специфические особенности и поэтому традиционные пресс-формы для получения выплавляемых моделей, при использовании пенополистирола должны быть переделаны.

Типовая пресс-форма для моделей из пенополистирола показана на рис. 4.12. Конструкция пресс-формы должна обеспечивать быстрое (за 0,2—0,8 с) и равномерное заполнение вспенивающимся полистиролом, удаление газов и минимальный расход пенополисти-

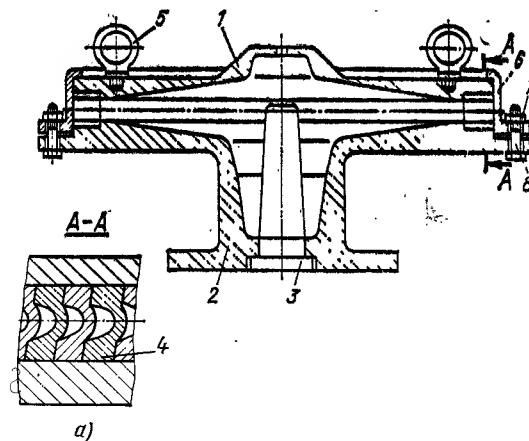
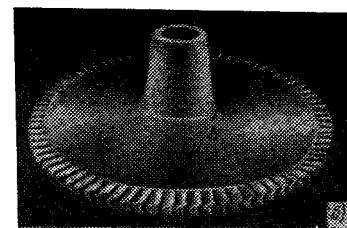


Рис. 4.11. Пресс-форма ротора (а) и полученная в ней модель (б): 1, 2 — верхняя и нижняя матрицы; 3 — металлический стержень; 4 — водорастворимые стержни-вкладыши; 5 — обойма; 6 — гайка; 7 — болт; 8 — рым-болт



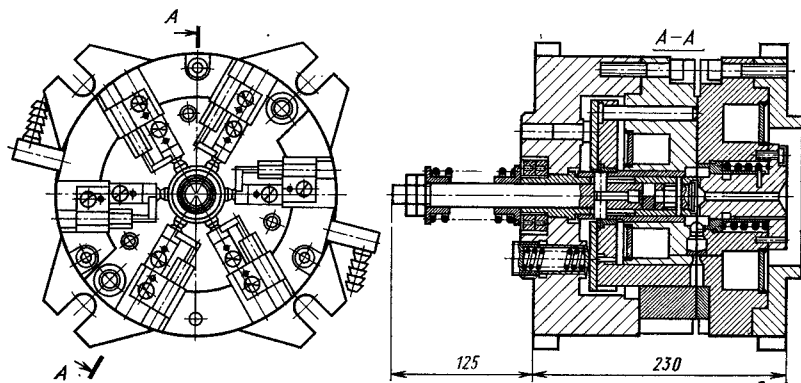


Рис. 4.12. Пресс-форма для моделей из пенополистирола

рола на литники. В пресс-формах должно быть предусмотрено устройство для подогрева (до 35—40 °С) в виде каналов с горячей водой или электроподогреватели для предупреждения трещин в моделях. При высокой производительности следует иметь также систему охлаждения.

При расчете размеров полости пресс-формы необходимо учитывать усадку моделей на 25—30 % меньшую, чем у воскоподобных материалов. Особое внимание при проектировании пресс-форм нужно уделять литниковым системам, подводящим пенополистирол. Литники должны быть как можно короче, а питатели в виде точки или щели (рис. 4.13). Пенополистирол лучше впрыскивать в полости, формирующие тонкие стенки модели.

В одностенных пресс-формах рекомендуется применять питатель, показанный на рис. 4.13, а, в многостенных — питатель, показанный

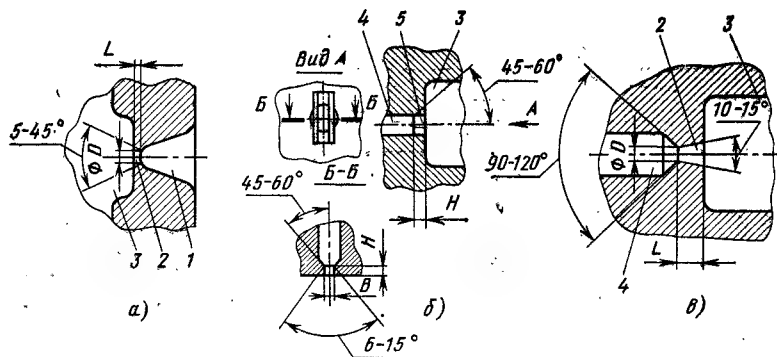


Рис. 4.13. Питатели:

а — точечный при безлитниковом литье в одностенные пресс-формы; б — щелевые с литниковым каналом; в — точечный с литниковым каналом; 1 — литниковая втулка; 2 — точечный литник; 3 — полость пресс-формы; 4 — литниковый канал; 5 — щелевой питатель

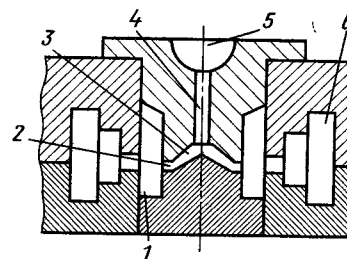


Рис. 4.14. Литниковая система для модельных звеньев:

1 — полость втулки звена; 2 — питатель; 3 — коллектор с рассекателем; 4 — литник; 5 — литниковая втулка; 6 — гнездо пресс-формы

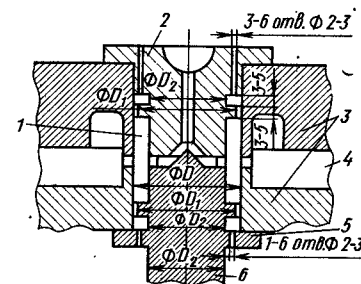


Рис. 4.15. Вентиляционная система в пресс-форме:

1 — полость втулки звена; 2 — литниковая втулка; 3 — полуформы; 4 — гнездо пресс-формы; 5 — втулка; 6 — стержень

на рис. 4.13, в. Щелевой питатель (рис. 4.13, б) эффективен в том случае, когда направление впрыска материала в пресс-форму не совпадает с направлением протяженных полостей. Размеры элементов питателей приведены в табл. 4.2.

При изготовлении модельных звеньев применяют литниковую систему, подводящую пенополистирол во все гнезда пресс-формы (рис. 4.14).

Для быстрого отвода газов рекомендуется предусматривать вентиляционные каналы по поверхности разреза, в глухих местах (оформляемые винтами), в виде зазоров на хвостовиках стержней. Можно использовать металлокерамические микропористые вкладыши или винты с отверстиями диаметром 0,3—0,4 мм.

Одно из решений удаления газов из полости пресс-формы, образующей втулку звена, показано на рис. 4.15. $D_1 < D$ на 0,15—0,2 мм; $D_2 < D$ на 5—6 мм. Выделяющиеся газы содержат в основном легковоспламеняющиеся пары изопентана, поэтому их нельзя выводить в места расположения электронагревателей.

Толкатели моделей должны быть широкими, устанавливать их следует в тонких частях модели, имеющих большую плотность и твердость. Система толкателей должна обеспечивать механизированное отделение литниковых систем от моделей.

Таблица 4.2

Рекомендуемые размеры точечных и щелевых питателей

Объем модели, см ³	Точечные			Щелевые		
	D, мм	L, мм	Площадь сечения, мм ²	H, мм, не более	Площадь сечения, мм ²	B, мм
До 5	0,5—0,8	1,5	0,2—0,5	1,5	3—4	1,0—1,5
5—15	0,5—0,8	2,0	0,2—0,5	2,0	4—5	1,2—1,5
15—30	0,8—1,0	2,0	0,5—0,8	2,0	5—6	1,6—2,0
30—50	1,0—1,5	2,5	0,8—1,8	2,5	6—8	1,6—2,0
50—75	1,5—2,0	2,5	1,8—3,1	2,5	6—8	2,0—2,5
75—100	1,5—2,0	2,5	1,8—3,1	2,5	6—10	2,5—3,0

4.3. ГИПСОВЫЕ ПРЕСС-ФОРМЫ

Изготовление пресс-форм из гипса наиболее быстрый и экономичный способ, применимый для изготовления серийных (до 50 шт. с одной пресс-формы) моделей, от которых не требуется высокой точности и малой шероховатости поверхности.

Пресс-формы изготавливают заливкой водной суспензии гипса на эталон, который может быть выполнен практически из любого материала — от пластилина до металла. Чаще всего применяют деревянные эталоны, окрашенные модельным лаком. При затвердевании гипс имеет малую усадку.

Процесс изготовления гипсовой пресс-формы (рис. 4.16) состоит в следующем. Эталон 7 из дерева, изготовленный с учетом литейной усадки, может быть разъемным или цельным. Его устанавливают на постамент 9, оформляющий контур поверхности разъема пресс-формы. Для упрощения можно эталон заформовать в опоке с песчаной смесью, в пластилине или залить модельным составом с последующей доводкой по поверхности разъема.

В эталон вставляют металлические детали, которые оформляют наиболее ответственные элементы модели или же вставки и стержни (1, 3 и 4), получение которых из гипса затруднительно. Постамент 9 окружается обечайкой 6, высота которой равна высоте будущей пресс-формы. Плоскость разъема смазывают тонким слоем мыла или масла. Для предохранения пресс-формы от разрушения извлека-

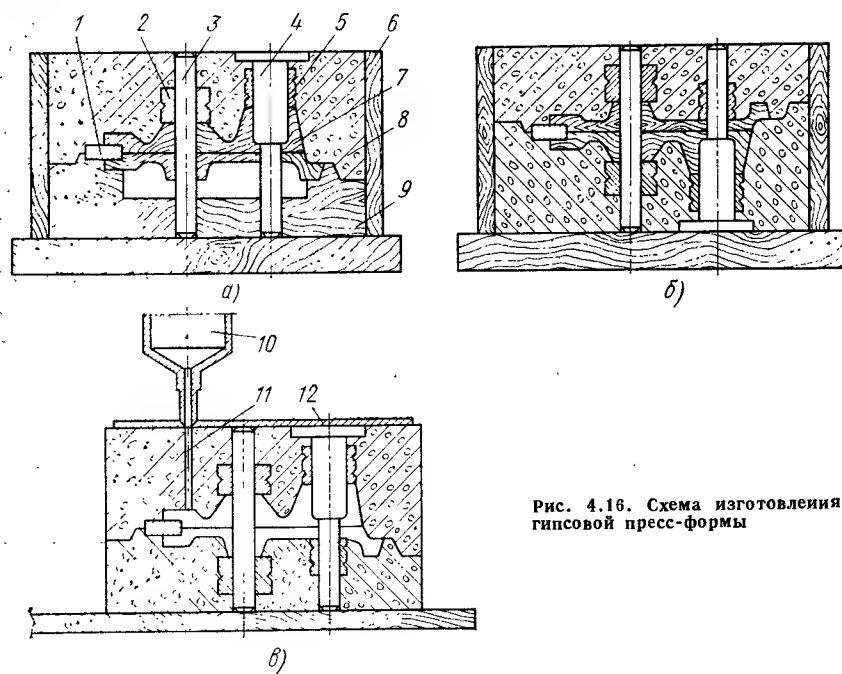


Рис. 4.16. Схема изготовления гипсовой пресс-формы

емыми стержнями 3 и 4 на них надевают металлические втулки 2 и 5. После нанесения разделительного смазочного материала в обечайку заливают гипсовую суспензию (рис. 4.16, а). Затвердевшую полуформу 8 поворачивают на 180° и устанавливают на металлические стержни втулки. После смазывания поверхности разъема и эталона разделительным составом заливают вторую полуформу и дают гипсу затвердеть (рис. 4.16, б). В одной из полуформ просверливают канал для модельного состава 11. Эталон извлекается из пресс-формы (рис. 4.16, в).

Как правило, гипсовые пресс-формы скрепляют с помощью универсальных приспособлений или струбцин. Для предохранения гипса от разрушения шприцем 10 на пресс-форму накладывают металлическую плиту 12 с отверстием.

Пресс-формы можно изготавливать из строительного гипса, но лучше применять высокопрочный гипс марок 350 и выше. При хранении в сыром помещении гипс теряет свойство схватываться, поэтому перед использованием его следует просушить и просеять через сито. На 7 мас. ч. сухого гипса берут 3—4 мас. ч. воды. Более жидкая гипсовая смесь после затвердевания обладает меньшей прочностью, а густая — затрудняет заливку. Перемешивают воду с гипсом до тех пор, пока в смеси не исчезнут сухие комки и не будет удалена основная масса воздушных пузырей. Последние прилипают к поверхности эталона, образуя в затвердевшей форме раковины. Во избежание этого можно предварительно кистью наносить слой гипса на модель, а затем заливать остальную смесь.

В отдельных случаях, например при изготовлении большого количества смеси, требуется длительное время для ее перемешивания. Чтобы предупредить загустение смеси, в нее добавляют замедлитель твердения; раствор в воде столярного клея, буры или борной кислоты. Количество замедлителей подбирают опытным путем. Клеевого замедлителя добавляют 0,1—0,2 % массы воды, буры 0,35—0,50 и борной кислоты 1,5—2,0 % массы сухого гипса.

Для повышения прочности гипсовые пресс-формы можно армировать металлическими каркасами, добавлять в гипс 15—30 % цемента или замешивать гипс на водном растворе связующего МФ-17.

Для придания полости гипсовой пресс-формы гладкой поверхности, а также повышения поверхностной прочности и негигроскопичности, просушенную пресс-форму пропитывают в течение 30—60 мин в олифе, нагретой до 50°C . После этого пресс-форму протирают, просушивают на воздухе и красят спиртовым лаком или нитролаком. Поверхность пресс-формы можно упрочнить нанесением на нее слоя органического стекла, растворенного в дихлорэтано (60 г оргстекла на 1 л дихлорэтана). Работу следует проводить под вытяжкой, так как пары дихлорэтана токсичны. После просушки в течение 2—3 ч при $40\text{--}50^\circ\text{C}$ толщина слоя органического стекла составляет 50—60 мкм.

Хорошие результаты дает применение неокрашенных гипсовых пресс-форм, которые перед запрессовкой опускают на 2—3 мин в холодную воду. Такая пресс-форма не требует никакого смазывания.

Литые металлические пресс-формы имеют наибольшее распространение, так как они более дешевы и могут быть быстрее изготовлены, чем механической обработкой. Изготовление модели-эталона, по которому отливают пресс-форму, всегда менее трудоемко, чем изготовление самой пресс-формы механической обработкой. Литые многогнездных пресс-форм по одной модели-эталону, как правило, обеспечивает меньший разброс размеров, чем при получении такой пресс-формы механической обработкой. Особенно удобны литые пресс-формы при освоении новой номенклатуры отливок и изготовлении первых образцов. В этом случае необходимые конструктивные изменения могут быть быстро осуществлены на модели-эталоне, а затем перенесены на соответствующую пресс-форму, отлитую по этой модели.

Процессы получения литых металлических и гипсовых пресс-форм аналогичны, но для изготовления металлической формы требуется металлический эталон. В металлической пресс-форме можно получить большое число моделей, поэтому в ее конструкции предусматривают приспособления, обеспечивающие удобство работы и удлиняющие срок ее службы. Такими приспособлениями служат разъемный корпус, точно пригнанные штыри с направляющими втулками, приспособления для выталкивания моделей из пресс-формы и при необходимости для комбинированных пресс-форм — различные металлические вставки.

Корпус пресс-формы обычно изготавливают сварным из листовой стали или же отливают из алюминия, штыри, втулки и толкатели изготавливают из стали.

Для предупреждения приваривания заливаемого сплава к эталону, поверхность последнего натирают чешуйчатым (серебристым) графитом, либо покрывают краской с пылевидным кварцем на жидком стекле или этилсиликатном связующем. Хорошие результаты дает копчение поверхности эталона.

В табл. 4.3 приведены составы и свойства легкоплавких сплавов. Сплав Вуда можно применять при изготовлении пресс-форм по металлическим и деревянным эталонам. Низкая температура плавления и отсутствие усадки являются основными преимуществами сплава. К его недостаткам относятся сравнительно малая прочность и высокая стоимость. Висмутовые сплавы имеют более высокие прочность и температуру плавления, они не имеют усадки, а иногда объем их при охлаждении увеличивается. Цинковый сплав при относительно невысокой температуре плавления обладает значительной прочностью и износостойкостью, его можно заливать свободной заливкой на подогретый эталон.

Рекомендуется верхнюю и нижнюю части пресс-форм отливать из разных сплавов, с различной температурой плавления. Наиболее оптимальным материалом считают сплав, содержащий 80 % Pb, 6 % Sn, 14 % Sb с температурой плавления 250 °С, твердостью *НВ* 15,4 и усадкой 0,5 %. Для другой части пресс-формы применяют

Составы и физико-механические свойства легкоплавких сплавов для изготовления пресс-форм

Сплав	Состав, %						
	Pb	Sn	Bi	Sb	Al	Zn	Другие элементы
Вуда	25	12,5	50	—	—	—	12,5 Cd
Bi—Pb	44,5	—	55,5	—	—	—	—
Bi—Sn	—	42	58	—	—	—	—
Sn—Bi—Pb	30	35	35	—	—	—	—
Pb—Sn—Bi	70	15	15	—	—	—	—
Pb—Sb	87	—	—	13	—	—	—
Pb—Sn—Sb	56	33	—	11	—	—	—
ЦАМ 4—1	—	—	—	—	4	95—96	0,75—1,25 Cu 0,08—0,1 Mg 10—13 Si
АЛ2	—	—	—	—	87—90	—	—

Сплав	Физико-механические свойства			
	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	<i>НВ</i>	Объемная масса, кг/м ³
Вуда	68	41,2	9,2	9 400
Bi—Pb	124	44,1	10,2	10 500
Bi—Sn	138	54,9	22	8 700
Sn—Bi—Pb	140	—	—	9 100
Pb—Sn—Bi	140	—	—	10 100
Pb—Sb	247	49	30	10 500
Pb—Sn—Sb	315	54,9	—	9 100
ЦАМ 4—1	430	235—274	70—85	7 100
АЛ2	600	147—157	50—60	2 700

сплав с 30,6 % Pb, 51,2 % Sn и 18,2 % Cd с температурой плавления 142 °С, твердостью *НВ* 9,6 и усадкой 0,35 %. Из цинковых сплавов оптимальными являются состав 3,5—4 % Al, 2,4 % Cr, 0,02—0,05 % Mg, остальное цинк с температурой заливки 410—430 °С, линейной усадкой 0,85 % и состав 3,5—4,3 % Al, 0,05—0,06 % Cr, 0,02—0,05 % Mg, остальное цинк, с температурой заливки 410—420 °С и линейной усадкой 0,95 %.

Четкие контуры получают при нагреве металлического эталона до температуры на 30—60 °С ниже температуры плавления легкоплавкого сплава и при перегреве сплава на 30—60 °С выше температуры его плавления.

В том случае, когда к пресс-форме предъявляют повышенные требования по точности размеров и чистоте поверхности, применяют опрессовку ее по эталону на прессе, используя высокие пластические свойства применяемых сплавов на основе Pb и Sn. Затвердевшую пресс-форму разбирают, исправляют мелкие дефекты на ее рабочей поверхности (шабрением) и вновь собирают вместе с эталоном для обжатия на прессе под давлением до 60 МПа.

Имеется опыт изготовления литых пресс-форм из сплава АЛ2 на машине литья под давлением с холодной горизонтальной камерой прессования [41]. При этом используют обычные блок-формы с цилиндрическими и прямоугольными вкладышами, дополнительно изготавливают только вкладыши в блок-формы для закрепления эталонов-моделей.

4.5. ПРЕСС-ФОРМЫ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ МЕТОДАМИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ, МЕТАЛЛИЗАЦИИ И НАПЫЛЕНИЯ

Для изготовления пресс-форм гальванопластикой используют эталоны из алюминиевых или цинковых сплавов. Поверхность полированного эталона протирают бензином, а затем обезжиривают окисью магния. После промывки холодной водой эталон декапируют в 18 %-ном растворе хлористого никеля или в растворе соляной и фтористоводородной кислот в течение 15—20 с и вновь промывают холодной водой.

Подготовленный эталон никелируют в ванне обычного состава. Предварительно плоскость разъема эталона изолируют составом из воска и канифоли (1 : 1) для того, чтобы избежать осаждения никеля на эту плоскость. Первые 5—8 мин никелирования плотность тока должна быть 1—1,2 А/дм², а затем можно снизить до 0,5—0,8 А/дм². В течение 20—25 мин осаждается слой никеля толщиной 8—10 мкм. Затем эталон меднят в гальванической ванне в 20 %-ном растворе медного купороса. Предварительно на 1 л этого раствора добавляют 70 г серной кислоты и 8 г спирта — ректификата. Электролит все время интенсивно перемешивают и фильтруют. Промытый и высушенный омедненный эталон металлизуют медью или сталью с помощью газового или электрического металлизатора. Металлизационный слой по всей поверхности эталона должен быть толщиной 2—2,5 мм.

После металлизации алюминиевый эталон удаляют растворением в кипящем растворе щелочи, а цинковый — выплавлением при 450 °С. Полученную металлическую коронку травят в кислоте, а затем промывают в воде и просушивают. Коронку устанавливают на плиту, накладывают корпус пресс-формы и заливают гипсовым раствором или легкоплавкими сплавами. Аналогичным образом получают вторую половину пресс-формы.

При изготовлении пресс-формы металлизацией лучше использовать эталон из алюминия, который быстро окисляется на воздухе и окисная пленка препятствует сцеплению металлизационного слоя с эталоном. Металлизация может производиться аппаратом ЭМ-3 или ЭМ-3А.

Для металлизации металлический корпус пресс-формы (рамку) вместе с модельным эталоном устанавливают на плиту. Металл наносят вкруговую, начиная от рамки и заканчивая центром. Для лучшего сцепления распыляемого металла с рамкой на ее внутренних сторонах делают отверстия или канавки. Толщина наносимого слоя зависит от габаритных размеров пресс-формы и колеблется

в пределах 1,5—5 мм. При непрерывном нанесении толстостенного покрытия эталон нагревают, что снижает качество изготовленной пресс-формы. В этом случае следует проводить металлизацию с охлаждением эталона сухим сжатым воздухом или же с перерывами в работе. При извлечении эталона из-за хрупкости металлизационного слоя возможно выкрашивание кромок, что легко исправить последующей запайкой. Полученную форму заливают гипсом или легкоплавким сплавом.

Пресс-формы, изготовленные металлизацией, можно также делать многогнездными, монтируя коронки в стальном корпусе и соединяя их между собой пайкой, заливкой легкоплавкими сплавами или дополнительной металлизацией с нерабочей стороны.

При плазменном напылении [26] применяют металлические, графитовые и гипсовые модели. Напыляют различные металлические порошки. Плазмообразующими газами являются водород, аргон, аммиак или смеси этих газов. Образованную оболочковую полуформу заливают металлом или засыпают металлическим порошком с последующим спеканием, применяя нагрев электротокотом. Внутренние полости пресс-форм полируют.

4.6. ПЛАСТМАССОВЫЕ ПРЕСС-ФОРМЫ

Для мелкосерийного производства удобно и экономически целесообразно изготовление пресс-форм из пластмасс холодного твердения методом свободной заливки на эталон. Пресс-формы, полученные указанным методом, имеют высокую механическую прочность, не подвержены короблению, разбуханию, коррозии, они обеспечивают достаточную точность получаемых моделей.

Наиболее широкое применение получили пластмассы на основе эпоксидных смол. Эпоксидные смолы являются вязкими жидкостями, в которые вводятся пластификаторы и отвердители. Затвердевшая в результате полимеризации смола — это необратимая и неплавкая масса с малой теплопроводностью и низкой твердостью. Для улучшения свойств отвержденных пластмасс применяют инертные наполнители (металлические, минеральные, органические). Наиболее теплопроводной является пластмасса на основе эпоксидной смолы с добавлением железных, алюминиевых и медных порошков.

Процесс изготовления металлопластмассовых пресс-форм аналогичен их получению из гипса или легкоплавких сплавов и состоит из изготовления эталона и по нему пресс-формы. Установленный эталон, который может быть выполнен практически из любого материала, и плоскость разъема смазываются разделительным составом (густым маслом, например подсолнечным, растворами 10—15 мас. ч. полиизобутилена в бензине, или 15—20 мас. ч. сырой резины в толуоле, 7—10 мас. ч. поливинилового спирта в воде, либо 30 мас. ч. воска в скипидаре). Затем в емкость загружают составляющие в определенных пропорциях.

Для снижения вязкости смолу подогревают до 40—50 °С. Пластификатор нагревают в водяной бане до 85 °С и выдерживают при этой

температуре для удаления из него газов, которые в противном случае будут выделяться в заливной пресс-форме.

Сначала смешивают смолу с половинным количеством пластификатора, другую его половину смешивают в отдельной посуде с отвердителем. В смесь смолы и пластификатора засыпают наполнитель и все перемешивают при 40—50 °С в течение 20—30 мин. Затем смесь охлаждают до температуры 20 °С, заливают отвердитель, смешанный с пластификатором, и вновь перемешивают. Приготовленную смесь необходимо использовать в течение 15—25 мин.

Составы заливочных смесей для изготовления пресс-форм весьма разнообразны. Так, получили распространение металлопластмассовые смеси из 100 мас. ч. смолы и 150—170 мас. ч. алюминиевой пудры. Пластификатором во всех составах является дибутилфталат, который при использовании смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587—76) берется в количестве 12—15 мас. ч., а для смолы ЭД-16 — от 15 до 20 мас. ч. В качестве отвердителей применяют полиэтиленполиамин (9—10 мас. ч. для смолы ЭД-16 и 11 мас. ч. для ЭД-20), либо гексаметилендиамин (10—12 мас. ч. для смолы ЭД-16 и 12—15 мас. ч. для ЭД-20). Как отвердитель может быть применен и кубовый остаток гексаметилендиамина (15—20 мас. ч. для любой из указанных смол).

Для улучшения качества поверхности пресс-формы можно применять облицовочную смесь, которую кистью наносят на эталон толщиной 1,5—2 мм. Этот слой выдерживают на эталоне в течение 1—1,5 ч, после чего заливают основную металлопластмассовую смесь. Рецептура облицовочных смесей отличается от заливочных меньшим (в 5 раз) содержанием наполнителей.

Залитая пресс-форма затвердевает в вытяжном шкафу при температуре 20 °С в течение 12—16 ч, после чего ее термически обрабатывают по следующему режиму: 1 ч при 30 °С, 1 ч при 40 °С, 2 ч при 60 °С — с последующим охлаждением вместе с термощкафом.

4.7. ПРЕСС-ФОРМЫ ИЗ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применение эластичных материалов — формопласта и резины — значительно упрощает изготовление пресс-форм. Большая упругость формопласта и его свойство после деформации возвращаться к первоначальной форме позволяет при выемке модели буквально выворачивать формопласт, извлекая модели с поднутрением и с обратными конусами. Изготовление формопластовой пресс-формы состоит в заливке модельного эталона расплавленным формопластом.

Эталоны могут быть изготовлены из металла (температура плавления не ниже 130 °С), дерева и гипса. Перед заливкой формопластом эталон припудривают тальком. Гипсовый эталон и гипсовый кожух лучше всего пропитать горячей олифой или бакелитовым лаком. Гипс, не имеющий защитного покрытия, при заливке выделяет в жидкий формопласт газы, отчего форма пронизывается мелкими отверстиями и в виде булавочных уколов. Нельзя для покрытия эталонов использовать нитролаки, спиртовые лаки и искусственные олифы, так как они реагируют с формопластом.

Перед заливкой эталоны, особенно металлические, нужно подогреть до 60—70 °С для получения хорошей поверхности. Расплавлиять формопласт следует в масляной бане, следя за тем, чтобы температура обогревающей среды не поднималась выше 150 °С. При нагреве выше 150 °С формопласт разлагается и теряет свои свойства. Заливать его необходимо при температуре 125—130 °С. Перед заливкой прекращают нагрев формопласта и выдерживают в течение 10—15 мин для полного удаления пузырьков воздуха. За один прием эталон заливают полностью со всех сторон. После затвердевания и извлечения из корпуса пресс-форму разрезают лезвием бритвы или острым ножом на такое число частей, чтобы было удобно извлекать модель. Формопластовые пресс-формы используют только при изготовлении моделей свободной заливкой.

Пресс-формы из резины широко применяют в зубопротезной и ювелирной технике, при изготовлении мелких художественных отливок, реже для получения мелкосерийных и единичных отливок в промышленности. Срок службы резиновой пресс-формы до 250 съёмов.

Технологический процесс изготовления резиновых пресс-форм заключается в следующем. Стальной эталон отливки ставят на дно цилиндрической гильзы и заливают жидким кремнийорганическим каучуком, в который предварительно вводят катализатор. После полимеризации для извлечения эталона пресс-форму разрезают ножом пополам до линии разреза, оставляя неровности для взаимной фиксации половинок при сборке. После извлечения эталона и прорезания литника пресс-форму собирают и вставляют в гильзу, изготовленную так, что половинки пресс-формы оказываются плотно прижатыми одна к другой. Пресс-форму свободно заполняют модельным составом или вакуумируют (остаточное давление ~70 Па) и запрессовывают модельный состав под давлением 140—170 кПа.

В последнее время для изготовления пресс-форм используют герметик виксинт, который выпускают двух марок — полупрозрачный жидкий и белый пастообразный. При введении в него 0,4—4 % катализатора виксинт через 2—4 ч затвердевает, превращаясь в эластичную резиноподобную массу без повышения температуры. В виксинтовой пресс-форме обеспечивается высокая точность отпечатка, не требуется смазывать ее разделительным составом, можно получать модели как свободной заливкой модельного состава, так и при умеренном давлении на него. Такая пресс-форма может быть получена по эталону из любого материала (дерево, пластилин, глину, воскоподобные составы и т. д.).

Вначале эталон смазывают тонким слоем жидкого виксинта, а затем после затвердевания, наносят необходимый слой пастообразного виксинта. Эталон с виксинтовым слоем заливают гипсом или легкоплавким сплавом, предусматривая возможность разборки пресс-формы, и фиксируют в ней виксинтовую оболочку. Пресс-форму разбирают и виксинт разрезают тонким лезвием на необходимые части для удобства извлечения модели. Эластичность виксинтовой оболочки позволяет получать модели с поднутрениями.

При необходимости придать большую жесткость пресс-форме, изготавливают стальную или алюминиевую разъемную обечайку с зажимами и половинками ее сдавливают незатвердевший висксинт на эталоне. Расстояние между полостью половинок и эталоном обычно составляет 3—5 мм. По плоскости разъема половинок обечайки выполняют канавки, в которые выдавливается избыток висксинта. Висксинтовая пресс-форма со временем теряет эластичность, изменяет размеры из-за старения полимера.

4.8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ И ИХ ИСПЫТАНИЯ

В зависимости от сложности пресс-форм, применяемых цехом, от организации производства, принятого на заводе, в состав которого входит этот цех, и от наличия производственной базы для механической обработки пресс-формы можно изготавливать в специальном

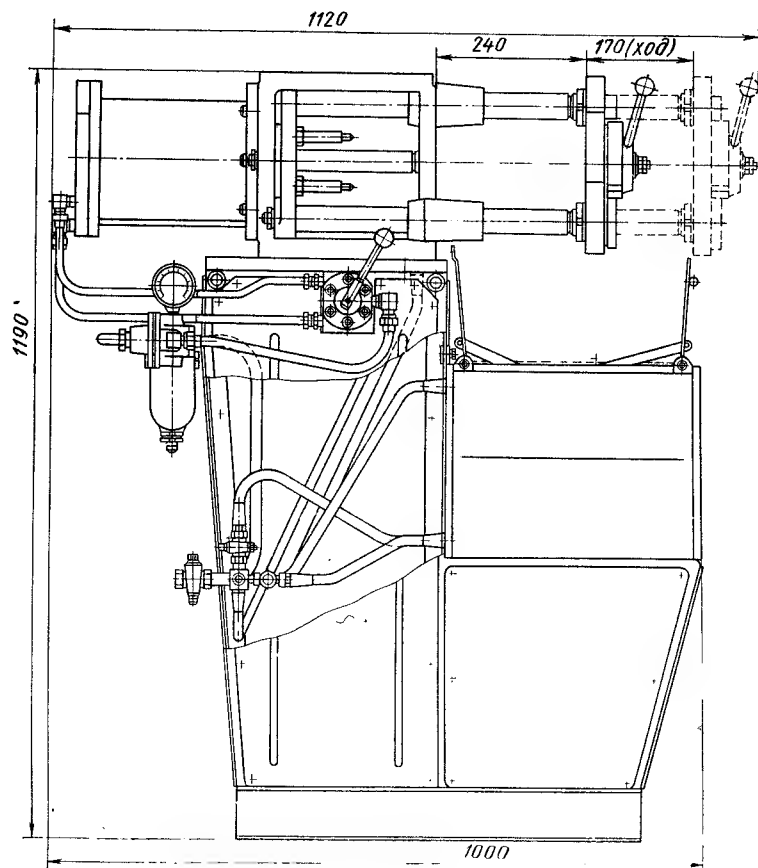


Рис. 4.17. Стенд для отладки пресс-форм мод. 655

отделении цеха литья по выплавляемым моделям, в специальных инструментальных или механических цехах и, наконец, на других заводах по кооперации.

В тех случаях, когда пресс-формы изготавливают в других цехах или заказывают на других заводах, цех литья по выплавляемым моделям должен иметь отделение или мастерскую для ремонта пресс-форм и даже изготовления их для простейших деталей.

При условии изготовления пресс-форм в литейном цехе отделение по изготовлению и ремонту последних должно быть оснащено соответствующим оборудованием.

В крупных цехах, оснащенных автоматами для изготовления моделей, должны быть стенды для проверки и доводки каждой вновь изготавливаемой пресс-формы.

Стенд для отладки пресс-форм (рис. 4.17) может также использоваться для изготовления модельных секций в индивидуальном и мелкосерийном производстве при наличии соответствующих пресс-форм. На стенде проверяется кинематическая работа пресс-форм, условия охлаждения, герметичность и качество получаемых звеньев моделей (перекося, заусенцы по плоскости разъема, геометрия и т. д.).

Техническая характеристика стенда мод. 655

Производительность, звеньев в час	20—40
Расчетное усилие зажима пресс-форм, кН	9,8
Максимальные размеры пресс-форм, мм	240×240×240
Давление воздуха в сети, кПа	≥382
Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм	1000×705×1190
Масса, кг	200

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

Процесс изготовления моделей включает операции приготовления модельных составов, получения моделей отливок и ЛПС, отделки и контроля моделей, сборки их в блоки и контроля последних.

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

За годы развития литья по выплавляемым моделям в промышленности были опробованы сотни модельных составов, многие из которых широко используются в производстве, а некоторые централизованно поставляются. Более 30 лет помимо выплавляемых используют растворимые и выжигаемые модельные материалы. В целях придания моделям необходимых свойств, их изготавливают обычно из составов, образованных несколькими компонентами, каждый из которых выполняет определенную роль (основы, упрочнителя, пластификатора, наполнителя и т. д.). Так как применяемые модельные составы не отвечают полностью все возрастающим требованиям производства, работа по изысканию новых составов и материалов для их приготовления продолжается.

Модельные составы могут быть классифицированы по ряду признаков, например, в зависимости от природы и количественного соотношения образующих их компонентов, свойств, методов изготовления моделей, способа удаления последних из форм. Наиболее существенным является первый классификационный признак, так как природа и соотношение компонентов модельного состава определяют его физико-механические, химические и технологические свойства, следовательно и рациональные методы использования.

По указанному признаку модельные составы разделены В. А. Озеровым на семь групп (табл. 5.1).

Группа 1 — воскообразные составы, используемые для изготовления моделей как из расплавов, так и из паст. Эти составы наиболее универсальны и широко распространены как в СССР, так и за рубежом. Их главные компоненты — парафины, натуральный и синтетический церезин, стеарин, буроугольный или горный (монтановый) и торфяной воски (битумы), сложные эфиры высших кислот, в отдельных случаях (в настоящее время редко, преимущественно в зарубежной практике) — натуральные воски: пчелиный, кандильский, карнаубский.

Классификация модельных составов

Группа	Наименование	Примеры составов *
1	Воскообразные выплавляемые составы	ПС 50-50; ПСЭ 70-25-5; ПЩБКо 70-12-13-5 (Р-3); ПЦПэв 62-25-13 (МВС-3А); ПБПсм 60-25-15 (ИПЛ-2); ПБТТэ 25-35-35-5 (ВИАМ-102)
2	Составы на основе натуральных и синтетических смол с добавками воскообразных и других компонентов	КПСЦ 50-30-20; КЦПэБн 80-18-1,6-0,4 (МАИ-3ш)
3	Водорастворимые составы	К6Бк 98-2; К6Нк 90—10 (МОН-10К); К6ПвсМс 95,5-2-2,5 (МПВС)
4	Термопласты компактные и вспенивающиеся, удаляемые из оболочек форм выжиганием	Полистирол блочный, полистирол суспензионный, вспенивающийся (например, ПСВ-ЛД)
5	Легкоплавкие металлы и сплавы	Ртуть, амальгамы ртути (в практике отечественного производства не применяются)
6	Модельные составы, представляющие собой смеси или сплавы составов различных групп	МВ (мочевинно-восковой состав, например, смесь расплавов карбамида и состава ПБТТэ 50-25-20-5)
7	Выплавляемые составы с твердыми наполнителями	РМ (смесь расплава Р-3 с порошком карбамида); смесь расплава воскообразного состава с порошком синтетической смолы

* В скобках указаны условные наименования (торговые марки), не несущие информацию о компонентах состава. Например, «ИПЛ» означает Институт проблем литья, где состав был создан.

В качестве добавок, улучшающих реологические свойства составов, повышающих их прочность и теплостойкость, снижающих хрупкость, используют такие продукты, как, например, кубовый остаток горячего крекинга парафина, касторовое масло, триэтаноламин, пластичную смазку, сибирский воск, этилцеллюлозу, канифоль, а также полиэтилен.

В начальной стадии промышленного применения процесса литья по выплавляемым моделям в СССР широко использовали парафиностеариновые составы ПС 50-50, ПС 70-30, ПСКм 65-32-3,

ПСЭ 70-25-5 *, обладающие хорошими реологическими свойствами в пастообразном состоянии и пригодные для изготовления моделей как на машинах, так и с помощью ручных шприцев. Однако ввиду ряда существенных недостатков (малой прочности и теплостойкости; наличия дорогого, дефицитного стеарина, склонного к взаимодействию с растворителями этилсиликатных связующих и омылению в горячей воде) эти легкоплавкие составы были позже в большинстве цехов заменены более экономичными бесстеариновыми, применение которых обеспечивало получение более прочных и теплостойких (следовательно, более точных) моделей, не взаимодействующих со связующими суспензии и водой при выплавлении из оболочек форм. Наиболее распространенными из второго поколения воскообразных модельных составов являются ПЦБКо 70-12-13-5, ПБПсм 60-25-15, ПБТТэ 25-35-35-5 [41].

В последние годы созданы и получили промышленное применение воскообразные составы третьего поколения, особенность которых заключается в том, что в них помимо парафина и других перечисленных выше главных компонентов вводят синтетические полимеры, например, полиэтиленовые воски ПВ-200 и ПВ-300, улучшающие свойства составов, в основном их теплоустойчивость и прочность. К таким составам относятся МВС-3А, МВС-15, ППК-1. Свойства наиболее распространенных составов группы 1 приведены в табл. 5.2. Составы Р-3, ИПЛ-2, МВС-3А, ВИАМ-102, ПЦБ 62-25-13 выпускают централизованно [46, 54, 74].

Воскообразные составы из буроугольного воска (до 55 % по массе) и церезина (15—45 %) с добавкой 7—12 % канифоли широко используют в ГДР и ЧССР. Для улучшения технологических свойств в эти составы добавляют синтетические воски, неочищенный парафин, стеарин.

Воскообразные составы различного назначения, централизованно выпускаемые в США и Англии, содержат канифоль, парафин, церезин, пчелиный и карнаубский воск, акравоск В и другие синтетические воски, полиэтилен, диглицольстеарат и другие продукты. Различные составы из этих компонентов имеют температуру каплепадения 65—95 °С, прочность при статическом изгибе 4,8—8 МПа, зольность 0,07—0,38 %, свободную линейную усадку 0,5—1,5 %.

Область рационального применения составов группы 1 весьма широка — от массового выпуска мелких стальных отливок для

* В приведенных и используемых далее сокращенных обозначениях: П — парафин, С — стеарин, Ц — церезин, Б — буроугольный воск, Т — торфяной воск, Пс — полистирол (компактный), ПсВ — полистирол вспенивающийся, Пэ — полиэтилен, ПэВ — полиэтиленовый воск (низкомолекулярный полиэтилен), К — канифоль, Кб — карбамид, Нк — нитрат калия, Нн — нитрат натрия, Нин — нитрит натрия, Ко — кубовый остаток горячего крекинга парафина, Псм — или пластичная смазка ПВК, Св — сибирский воск, Мс — магний сернокислый, Пвс — поливиниловый спирт, Бн — битум нефтяной, Бк — борная кислота, Тэ — триэтаноламин, Э — этилцеллюлоза. Следующие после буквенных обозначений цифры указывают соответственно среднее процентное содержание в составе (по массе) каждого из компонентов. Так, в составе ПСЭ 70-25-5 содержится 70 % парафина, 25 % стеарина и 5 % этилцеллюлозы.

Таблица 5.2

Модельные составы группы 1 и их свойства

Обозначение модельного состава	$t_{пл}$ (капельпадения), °С	Теплоустойчивость	Температура состава в пастообразном состоянии, °С	Свободная линейная усадка, % (при запрессовке пастообразного состава)	σ и при 18—20 °С, МПа	Вязкость кинематическая при 100 °С, сСт	Жидкотекучесть, мм (по спиральной пробе)	Зольность, % по массе	Кислое число, мг КОН/г	Число омыления, мг КОН/г	Пленчатость при 25 °С, мм ⁻¹	Коксуемость, % по массе
ПЦБКо 70-12-13-5 (на основе парафина, буроугольного воска и синтетического церезина с добавкой кубового остатка горячего крекинга парафина)	(77—80)	33	1,4	53—56	0,6—0,9	3,6—3,7	—	0,05—0,03	3—4	—	—	—
ПБПсм 60-25-15	74 (75—80)	33—40	—	48—70	0,6—1,0	2,4—4,0	8,6	0,075—0,124	6,7—10	26,22	11,2	0,97
ПС 50-50 (состав из равных по массе количеств парафина и стеарина)	53,3 (47,5)	30	10—12	42—45	0,8—1,0	1,8—2,0	4,38	0,03—0,1	98	100	7,5	—
ПБТТэ 25-35-35-5	(75—85)	35—40	—	—	0,9—1,4	4,7—5,0	—	0,15—0,3	—	—	—	—

Обозначение модельного состава	$t_{пл}$ (капли-падения), °C	Теплоустойчивость		Температура состава в пастообразном состоянии, °C	Свободная линейная усадка, % (при запрессовке пастообразного состава)	σ_H при 18—20 °C, МПа	Вязкость кинематическая при 100 °C, сСт	Жидкотекучесть, мм (по спиральной пробе)	Зольность, % по массе	Кислотное число, мг КОН/г	Число омыления, мг КОН/г	Плотность при 25 °C, г/см ³	Конусность, % по массе
ПЦБ 62-25-13 (на основе парафина, церезина марок 75—80 и буроугольного воска)	(75—85)	32	—	—	—	3,4	—	—	0,10	10	—	—	—
ПЦПэВ 67-25-5-7,5 (на основе парафина, церезина и полиэтиленового воска ПВ-300)	76,9 (75—80)	43	—	55—56	0,7—1,0	6,3	8,13	—	0,02	0,02—0,5	—	6	0,04
МВС-15 (на основе парафина, церезина и полиэтиленовых восков ПВ-200 и ПВ-300)	77,5 (81)	≥ 40	—	62—64	1,1—1,25 (при давлении пресования 0,12—0,15 МПа и со-держании в пасте до 20 % воздуха)	5—5,2	7,94	—	0,02	0,08	—	—	0,02

Примечания. 1. $t_{пл}$ — температура плавления; σ_H — предел прочности при статическом изгибе.

2. Широкие пределы изменения показателей некоторых свойств для отдельных модельных составов объясняются различным влиянием на значения этих показателей непостоянства состава и свойств исходных материалов, различных условий изготовления образцов для испытаний (например, давления прессования, содержания воздуха в модельной пасте).

автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и дорожных машин до серийного производства сложных по конфигурации тонкостенных отливок из специальных сплавов, например жаропрочных, в том числе со сложными внутренними полостями, выполняемыми с помощью керамических или растворимых солевых стержней.

Группа 2 — составы на основе натуральных и синтетических смол, термопластов, например полиэтилена и полистирола, с добавками воскообразных материалов (например, синтетического церезина и парафина). Используются эти составы для изготовления выплавляемых, а в ряде случаев — выжигаемых моделей.

Типичные представители составов группы 2 — КПсЦ 50-30-20 и КПЭБн 80-18-1,6-0,4, главные характеристики которых приведены в табл. 5.3. Они отличаются от составов группы 1 более высокой прочностью и теплоустойчивостью. Однако применение этих составов ограничено вследствие специфических недостатков у каждого из них. Составы типа МАИ имеют высокую температуру плавления и запрессовки, температуру каплепадения ~100 °C, что исключает воз-

Таблица 5.3

Свойства некоторых модельных составов групп 2 и 3

Модельный состав	Состав, % по массе	σ_H при 20 °C, МПа	Свободная линейная усадка, %
КПЭБн 80-18-1,6-0,4 (МАИ-3ш)	80 канифоли, 18 церезина, 1,6 полиэтилена, 0,4 битума нефтяного	6,2	0,7
КПсЦ 50-30-20	50 канифоли, 30 полистирола, 20 церезина	7,5—8,0	0,9—1,43
КПсЦ 73-8-19 (модернизированный вариант)	70—75 канифоли, 5—12 полистирола, 18—20 церезина	7,0—7,2	0,8—1,45
КБПвсМс 95,5-2-2,5 (МПВС-2)	94—96,5 карбамида, 1,5—3 поливинилового спирта, 2—3 MgSO ₄	12,0—17,0	0,2—0,6
КБнК 90-10 (МОН-10К)	90 карбамида, 10 калиевой селитры (KNO ₃)	15,0—19,0	0,15—0,4

Модельный состав	Коэффициент термического расширения, 1/°C	Теплоустойчивость, °C (по методике НИИТАвтопрома)	$t_{пл}$, °C	Зольность, % по массе	Плотность, кг/м ³
КПЭБн 80-18-1,6-0,4 (МАИ-3ш)	$12 \cdot 10^{-5}$	35	90—92	0,05—0,08	1000
КПсЦ 50-30-20	$25 \cdot 10^{-5}$	>40	Каплепадение 140	0,03—0,05	1000
КПсЦ 73-8-19 (модернизированный вариант)	—	—	—	0,04—0,05	1000
КБПвсМс 95,5-2-2,5 (МПВС-2)	$2,5 \cdot 10^{-5}$	68—72	110	0,1—0,15	1300
КБнК 90-10 (МОН-10К)	$2,6 \cdot 10^{-5}$	70—78	125	0,15—0,18	1320

возможность применения при их использовании типового оборудования для приготовления модельных составов и изготовления моделей, в котором теплоносителем в обогревающих устройствах служит горячая вода. У этих составов — повышенная зольность и склонность к образованию трещин, плохая смачиваемость суспензией и высокий коэффициент расширения при нагреве. Часто образующиеся на поверхности моделей из этих составов мелкие поверхностные дефекты (обычно — усадочного происхождения) трудно различимы при визуальном контроле, так как составы типа МАИ имеют темно-бурый цвет.

Прочные и теплоустойчивые до 60 °С сплавы на основе канифоли и полистирола с добавками церезина или парафина (типа КПсЦ и КПсП) имеют следующие недостатки: высокую вязкость в расплавленном состоянии, вызывающую необходимость перегревать состав до 160—175 °С при запрессовке и применять давления прессования до 1 МПа и выше, плохую выплавляемость из форм, вследствие чего возврат модельных материалов для повторного использования обычно не превышает 60 %, а при изготовлении весьма тонкостенных отливок столь невелик, что модели используют, как выжигаемые. Ввиду высокой температуры начала плавления и плохих реологических свойств этих составов модели при выплавлении из форм длительное время расширяются, находясь в твердом или высоковязком состоянии. Вследствие этого оболочка испытывает постепенно нарастающее давление расширяющегося модельного состава и должна обладать высокой прочностью, чтобы противостоять этому давлению, не разрушаясь. Для повышения сопротивления оболочки разрушающему действию расширяющейся модели приходится применять дорогой и трудоемкий способ формовки с жидким твердеющим наполнителем. Вследствие необходимости применять значительные давления при запрессовке модельных составом КПсЦ и КПсП исключается использование гипсовых пресс-форм, экономичных в условиях мелкосерийного и опытного производства.

Группа 3 — водорастворимые составы на основе карбамида, азотных и азотнокислых солей щелочных металлов (нитраты и нитриты калия и натрия), гидратированных сернокислых солей (алюмоаммонийных квасцов, сернокислого алюминия и магния), плавящихся при температуре не выше 350 °С, обладающих малой усадкой, хорошо растворимых в воде. Такие составы применяют в отечественном производстве точного литья более 30 лет. В эти составы вводят улучшающие добавки, например борную кислоту, поливиниловый спирт.

Наиболее распространенные представители составов группы 3 — К6Бк 98-2, К6Нк 80-20, НкНн 55-45, а также приведенные в табл. 5.3 К6Нк 90-10 и К6ПвсМс 95,5-2-2,5. Модельный состав на основе карбамида, недавно запатентованный в Швейцарии, используют при изготовлении крупных тонкостенных отливок (например, воздушных колес компрессора) массой до 35 кг.

Как видно из табл. 5.3, составы группы 3 прочны, теплоустойчивы, имеют малую линейную усадку, в 2—5 раз меньшую, чем

у воскообразных составов (см. табл. 5.2). Главные компоненты составов дешевы и недефицитны. Составы на основе карбамида обладают высокой текучестью в расплавленном состоянии, что в сочетании с малой усадкой позволяет получать модели, даже сложные и тонкостенные, методом свободной заливки расплава. Это послужило основанием для использования карбамидных составов при изготовлении тонкостенных отливок с глубокими узкими полостями, выполняемыми керамическими стержнями. При этом после установки керамического стержня в пресс-форму запрессовку модельного состава, часто вызывающую деформацию и поломку стержня, заменяют заливкой карбамидного расплава, ввиду чего стержень практически не испытывает силовых воздействий. Сохранность стержня обеспечивается и тем, что после изготовления оболочки формы модели на основе карбамида удаляют без нагрева растворением в воде, следовательно, они не оказывают давления на стержень, как выплавляемые, расширяющиеся при нагреве их до температуры начала плавления модельного состава.

Использование модельных составов группы 3 ограничено из-за следующих специфических их недостатков: гигроскопичности, хрупкости, сравнительно высокой температуры плавления (выше 100 °С), большой объемной массы (до 2,1 г/см³), практической непригодности для повторного использования (после растворения), трудностей утилизации раствора. Кроме того, обладающие щелочными свойствами солевые расплавы и их водные растворы могут взаимодействовать с кислыми огнеупорами основы оболочки и пленками связующего, вызывая образование мелких поверхностных дефектов отливок (типа засоров). Защиту поверхности солевых моделей путем нанесения на них тонких пленок негигроскопичных и химически инертных по отношению к материалам суспензий веществ, пока в производстве не используют. Этот метод практически может быть применен, очевидно, только в условиях серийного производства крупных отливок.

Специальной областью применения составов группы 3 является изготовление из них растворяемых в воде стержней для получения в выплавляемых моделях (преимущественно из составов группы 1) сложных каналов и полостей, невыполнимых в пресс-форме, с помощью металлических стержней (см. п. 5.6).

Группа 4 — термопласты, из которых на практике применяют только компактный (монолитный) полистирол и находящийся в стадии производственного опробования, ограниченно используемый вспенивающийся полистирол.

Так как полистирол при нагреве не плавится, а только размягчается (температура начала размягчения ~80 °С), переходя в вязкопластичное состояние, технологические свойства его стремятся повысить специальными добавками, например, введением до 10 % жирных кислот для снижения вязкости, повышения текучести в нагретом состоянии (при прессовании моделей) и уменьшения хрупкости готовых моделей.

Суспензионный полистирол для вспенивания перспективен, как материал для получения выжигаемых моделей в условиях массового производства мелких отливок, взамен воскообразных выплавляемых составов, а также при серийном выпуске сравнительно крупных тонкостенных и переменного сечения отливок, например лопаток турбин протяженностью до 0,5 м [55]. К преимуществам рассматриваемого материала относятся: теплоустойчивость моделей, что позволяет сушить слои оболочки формы ускоренно, при 70—80 °С, достаточная общая и поверхностная прочность при малой кажущейся плотности: 120—250 кг/м³ для мелких тонкостенных и даже 40—80 кг/м³ для отдельных крупных моделей. Уменьшение объемной массы моделей сопровождается снижением их прочности, точности размеров и повышением шероховатости поверхности. Для исключения последнего недостатка О. К. Кошевым, В. М. Белецким и Н. Д. Шулаком предложен метод нанесения акрилатного покрытия на рабочую поверхность пресс-формы перед заполнением ее гранулами полистирола для вспенивания.

По данным разработчиков процесса литья в многослойные оболочковые формы по выжигаемым пенополистироловым моделям, отлитым под давлением (ХФ ВНИИЛитмаш), точность получаемых деталей превосходит точность, достигаемую при литье по выплавляемым моделям из легкоплавких модельных составов [5]. Однако, как показали эксперименты [1], выполненные в условиях комплексно-механизированного производства стальных отливок по выжигаемым пенополистироловым моделям, повышенная по сравнению с литьем по выплавляемым воскообразным моделям точность деталей может быть обеспечена только при строгом соблюдении определенных условий их изготовления (температура впрыскиваемого модельного состава ~180 °С, пресс-формы 29—34 °С, кажущаяся плотность моделей $\rho = 200 \div 220$ кг/м³, оптимальное время выдержки моделей в пресс-форме и на воздухе после извлечения из последней), а также с учетом других факторов, в том числе конструкции модели у места подвода модельного состава. Стабилизация размеров пенополистироловых моделей благодаря обеспечению наиболее благоприятных условий их формирования позволяет получать отливки с точностью размеров выше качества 13 (СТ СЭВ 144—75), тогда как при традиционном процессе литья по выплавляемым моделям из составов типа Р-3 это обычно не достигается.

Для изготовления литых пенополистироловых моделей Охтинским НПО «Пластполимер», совместно с ХВ ВНИИЛитмаш, разработана специальная марка вспенивающегося полистирола ПСВ-ЛД (выпускаемого ПО «Пластик» в г. Узловая (по ТУ 6-05-05-148—78)). Основные технические характеристики ПСВ-ЛД: относительная вязкость 1,55—1,65; содержание порообразователя 4,5—5,5 %; содержание мономера стирола не более 0,035 %; влажность не более 1 %; зольность не более 0,02 %; показатель текучести расплава (ПТР) (15 ± 6) г/10 мин; содержание третичного додецилмеркаптана 0,025 %.

К группе 4 следует отнести и разрабатываемые в Московском авиационном технологическом институте им. К. Э. Циолковского (МАТИ) составы из вспенивающихся в пресс-форме и отверждающихся полиэфиров.

Группа 5 — легкоплавкие металлы и сплавы. Из металлов промышленное применение в качестве модельного материала получила ртуть, свободно заливаемая в пресс-формы при комнатной температуре и замораживаемая в ацетоне, охлажденном до —60 °С. Процесс литья по ртутным моделям («меркаст-процесс»), подробно описанный в английской и американской специальной литературе, несмотря на высокое качество получаемых отливок, широкого распространения в мировой практике литья по выплавляемым моделям не получил и в СССР не применяется вследствие исключительной токсичности паров ртути, сложности метода, высокой стоимости модельного материала.

В зарубежной литературе неоднократно сообщалось о возможности использования для изготовления моделей легкоплавких, преимущественно эвтектических сплавов металлов, например сплава Вуда (основа — висмут, $t_{пл} = 68$ °С). Однако сведений о промышленном применении таких модельных сплавов нет.

Группа 6 — модельные составы, представляющие собой механические смеси или сплавы составов, например, водорастворимых (группа 3) и воскообразных (группа 1). По данным Н. С. Севостьянова и В. В. Апилинского, в таких составах удастся значительно уменьшить недостатки образующих их составляющих: гигроскопичность, хрупкость и склонность к взаимодействию с формой карбамидных составов, малую прочность и теплоустойчивость воскообразных легкоплавких материалов. Однако приготовление комбинированных составов усложняется ввиду плохой совместимости компонентов, а при запрессовке их необходимо применять давления (>0,5 МПа), существенно превышающие применяемые для воскообразных составов. Наличие же последних в смеси приводит к снижению прочности и теплоустойчивости, характерных для карбамидной составляющей.

При удалении моделей в горячей воде повторно может быть использована только воскообразная часть комбинированного состава и возникают трудности с утилизацией карбамидного раствора.

Группа 7 — составы с твердыми наполнителями. Основа их — преимущественно составы группы 1, в которые вводятся порошки, например, синтетических смол или тугоплавких восков; плотность их близка к плотности расплава основы. Такие порошки образуют твердую взвесь в расплавах основы состава, снижая и стабилизируя усадку, следовательно, повышая точность моделей, а также увеличивая их прочность и формоустойчивость. Введение в расплав воскообразного модельного состава 10—15 % порошка синтетической смолы снижает свободную линейную усадку этого состава при затвердевании с 1,5—2 до 0,5 %.

5.2. СВОЙСТВА МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

К свойствам модельных составов предъявляют комплекс требований, которые могут иметь существенные различия в зависимости от конфигурации, размеров и назначения отливок, необходимой размерной точности их и качества поверхности, масштабов и характера производства, принятого технологического варианта процесса изготовления оболочек форм, требований к уровню механизации и экономическим показателям производства. Требования во многом определяются также природой и свойствами самого модельного состава. Так, ряд требований к составам группы 3 (например, полная растворимость в воде) неприменим к составам других групп.

Во всех случаях необходимо, чтобы свойства составов обеспечивали получение высококачественных моделей при одновременной технологичности составов (простоте их приготовления, удобстве использования, возможности утилизации).

Ниже приведены наиболее универсальные требования к модельным составам.

1. Состав должен точно воспроизводить конфигурацию рабочей полости пресс-формы и ее поверхности, не прилипать к пресс-форме. Поверхность модели должна быть чистой, глянцевой.

2. После затвердевания в пресс-форме состав должен иметь твердость и прочность достаточные для того, чтобы модели не деформировались и не повреждались на всех технологических операциях.

3. Усадка состава при охлаждении и расширение его при нагреве должны быть минимальными и стабильными.

4. Состав должен быть несложным в приготовлении, иметь минимальное число компонентов, желательно недорогих и недефицитных.

5. Температура плавления модельного состава должна быть невысокой, в пределах 60—100 °С. В этом случае облегчается изготовление моделей и удаление их из полости литейных форм. Одновременно температура начала размягчения состава должна быть не ниже 32—35 °С, т. е. на 10—15 °С превышать температуру помещений, в которых изготавливают, хранят модели, собирают в блоки и наносят на них суспензию.

6. Выплавляемый модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью в расплавленном состоянии для облегчения изготовления моделей и выплавления их из форм.

7. Модельные составы, запрессовываемые в пастообразном (вязкопластичном) состоянии, должны обладать в этом состоянии хорошей текучестью, позволяющей получать модели с четкой проработкой контуров полости пресс-формы и ее поверхности при малых давлениях прессования.

8. Продолжительность затвердевания модельного состава в пресс-форме должна быть минимальной.

9. Плотность состава должна быть невысокой. Желательно, чтобы она была менее 1000 кг/м³. Это облегчает работу с модельными блоками, уменьшает опасность поломки их и деформации под действием

собственной массы моделей, а при выплавлении моделей в горячей воде способствует лучшему отделению модельного состава для повторного использования.

10. Химическое взаимодействие состава с материалом пресс-форм, а также со связующим раствором и огнеупорной основой суспензии недопустимо.

11. Модельный состав должен хорошо смачиваться суспензией.

12. Хорошее спаивание модельного состава весьма желательно, так как это облегчает сборку блоков припайванием и соединение сложных моделей, изготавливаемых по частям.

13. Зольность модельного состава должна быть минимальной.

14. Структура состава должна быть механически однородной.

15. Желательно, чтобы модельный состав был пригодным для многократного повторного использования, потери его в процессе применения были минимальными, а технологические свойства не ухудшались при работе и хранении.

16. Модельный состав в любом состоянии должен быть безвредным для здоровья работающих (в твердом, расплавленном, парообразном виде), также как и продукты его деградации, образующиеся, например, при прокаливании форм. Отходы модельного состава не должны загрязнять окружающую среду.

Недостаточное соответствие свойств модельных составов оптимальным свойствам является одной из важнейших причин высокой трудоемкости изготовления моделей и сборки блоков в ряде отраслей промышленности, невысокой размерной точности отливок, значительного брака моделей и дефектов оболочек форм, связанных с недостатками модельных составов. Недостатки применяемых модельных составов — одна из причин значительных технологических потерь на основных операциях процесса литья по выплавляемым моделям. Наглядной характеристикой этих потерь служит коэффициент использования моделей (КИМо), который на ряде предприятий не превышает 0,5, что указывает на необходимость изготовления не менее двух моделей для получения одной годной отливки [197].

Отмеченные выше обстоятельства, а также возросшие требования к качеству отливок, изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям, являются причиной непрекращающихся работ по совершенствованию применяемых и изысканию новых модельных составов.

5.3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

В отечественной практике литья по выплавляемым моделям наиболее часто используют парафин, церезин, буроугольный воск, торфяной воск, канифоль, карбамид, азотные и азотнокислые соли щелочных металлов, стеарин. Имеется опыт использования в качестве добавок полиэтилена обычного и полиэтиленовых восков, этилцеллюлозы, триэтаноламина, дибутилфталата, поливинилового спирта. Осваивается в производственных условиях изготовление выжигаемых моделей из полистирола для вспенивания. Ниже приведены краткие сведения об этих материалах.

Парафин — смесь твердых насыщенных (предельных) углеводородов метанового ряда C_nH_{2n+2} , получают главным образом при возгонке парафиновых и высокопарафиновых нефтей, а также сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев. Синтетический парафин изготовляют путем восстановления окиси углерода водородом. В процессе получения так называемого товарного парафина отделяют масла и низкоплавкие парафины. В соответствии с ГОСТ 23683—79 парафины нефтяные твердые по степени очистки разделяют на высокоочищенные, очищенные и неочищенные. В зависимости от применения стандартом предусмотрены следующие марки парафинов: П-1, П-2 и П-3 — высокоочищенные, предназначенные для пищевой промышленности; В₁, В₂, В₃, В₄, В₅ — высокоочищенные, предназначенные для использования в различных отраслях народного хозяйства; Т и С — очищенные технического назначения (С — специально для производства синтетических жирных кислот в нефтехимической промышленности); Н_с и Н_в — неочищенные технического назначения, используемые обычно при изготовлении спичек и товаров бытовой химии (Н_с), либо в производстве α -олефинов (Н_в). Чистый парафин представляет собой белую воскоподобную массу кристаллического строения. Температура плавления нефтяных парафинов в зависимости от степени их очистки изменяется в пределах 42—62 °С. Плотность парафинов при 15 °С изменяется от 881—905 (у неочищенных) до 907—915 кг/м³ (у очищенных). Некоторые свойства парафинов приведены в табл. 5.4.

Для модельных составов применяют обычно очищенный технический белый парафин, содержащий не более 2,3 % масла, поставляемый в виде плиток массой 8—12 кг. В целях повышения теплоустойчивости и прочности модельных составов предпочтительно использовать высокоплавкий глубокообезмасленный парафин. Однако для придания составу большей пластичности в ряде случаев применяют спичечный парафин, содержащий до 5 % масла. Парафин практически нерастворим в связующих растворах этилсиликата, слабо растворим в абсолютном спирте, хорошо растворим в эфире, бензоле, сероуглероде. Зольность парафина не превышает 0,1 % по массе. Парафин — один из наиболее дешевых и недефицитных компонентов выплавляемых модельных составов, однако он размягчается при температуре ~30 °С, хрупок, имеет низкую прочность, склонен к вспениванию в расплавленном состоянии и к образованию усадочных раковин при затвердевании, в том числе — поверхностных (утяжин), вследствие чего его используют при изготовлении моделей в смеси с другими материалами.

Церезин — смесь твердых углеводородов предельного (метанового) ряда, получают кислотно-контактной очисткой нефтяного неочищенного церезина, парафинистой пробки или их смеси. Церезин представляет собой однородную массу белого или желтого цвета, не имеющую запаха, без заметных механических примесей, по внешнему виду напоминающую воск. В отличие от крупнокристаллического парафина чистый церезин состоит из мельчайших кристаллов игольчатой формы. Товарный церезин выпускают по

Свойства твердых нефтяных парафинов

Таблица 5.4

Показатель	Норма для марок											
	Высокоочищенные								Очищенные		Неочищенные	
	П-1	П-2	П-3	В ₁	В ₂	В ₃	В ₄	В ₅	Т	С	Н _с	Н _в
Внешний вид	Кристаллическая масса белого цвета								Кристаллическая масса белого цвета, допускается желтоватый оттенок		Кристаллическая масса от светлого до светлороманового цвета	
$t_{пл}, ^\circ C$, не ниже	54	52	50	50	52	54	56	58	50	45	42	57
Массовая доля масла, %, не более	0,45	0,9	2,0	0,8	0,45	0,45	0,45	0,5	2,3	2,2	5,0	2,3
Глубина проникновения иглы при 25 °С и массе груза 100 г, мм, не более	—	—	—	18	16	14	13	12	—	—	—	—

ГОСТ 2488—79 четырех марок: 65, 70, 75 и 80. Марка церезина характеризует температуру его каплепадения (65—70 °С для марки 65, 70—75 °С для марки 70, 75—80 °С для марки 75 и 80—85 °С для марки 80). В соответствии с указанным стандартом для всех марок установлены следующие требования: отсутствие воды, а также водорастворимых кислот и щелочей; не более 0,02 % массовой доли механических примесей, не более 0,02 % массовой доли золы; кислотное число — не более 0,1 мг КОН на 1 г церезина. Церезин не должен содержать летучих компонентов, температура кипения его выше 400 °С, а температура вспышки 260 °С. Церезины разных марок существенно различаются по твердости. Твердость, определенная, как и для парафина (по ГОСТ 23683—79, п. 5.7), по глубине проникновения иглы на лабораторном пинетометре ЛП-1 (ГОСТ 1440—78), изменяется от 1,6 мм для марки 80 до 3 мм для марки 65 (не более указанных значений).

Церезин синтетический высокоплавкий в соответствии с ГОСТ 7658—74 выпускают четырех марок: конденсаторный, 100, 93 и 90. Более тугоплавкий синтетический церезин получил в последнее время наибольшее применение в модельных составах.

Церезин имеет более высокую по сравнению с парафином температуру начала размягчения, менее склонен к деформации. Например,

консольно закрепленные в горизонтальном положении образцы диаметром 6 мм и длиной 50 мм, выполненные из церезина марки 80, имели при температуре 20—25 °С прогиб в 20—30 раз меньший, чем такие же образцы из парафина. Церезин не вступает во взаимодействие с гидролизированным раствором этилсиликата. Зольность церезина не превышает 0,03 %, плотность 910—940 кг/м³. К недостаткам церезина относятся его сравнительно невысокие прочность и твердость, малая пластичность, значительная линейная усадка (до 3,5 %).

Буроугольный воск (монтан-воск, монтанит, горный воск) — смесь сложных углеводородов, получают из битуминозного бурого угля. Вначале обрабатывают бурый уголь растворителем, затем отгоняют последний, в результате чего остается буроугольный воск, в состав которого входят воскообразные, смоляные и асфальтообразные вещества. В зависимости от природы исходного бурого угля, применяемого растворителя, а также особенностей процесса экстракции и дальнейшей обработки воска свойства его могут изменяться в значительных пределах.

Восковая кристаллическая основа обеспечивает хорошие механические свойства и способность воспроизводить в моделях гляцевую поверхность пресс-форм, примеси повышают прочность и теплоустойчивость. Буроугольный воск хорошо сплавляется с парафином, церезином, торфяным и некоторыми синтетическими восками, не взаимодействует с гидролизированными растворами этилсиликата. Отечественная промышленность по ТУ 39-01-232—76 поставляет воск, получаемый из бурых углей Южно-Уральского месторождения. Групповой состав буроугольного воска, % по массе: 82,5 восков; 8,6 парафинов, 6,8 масел; 2,1 асфальтенов. Зольность буроугольных восков ~0,1 %, температура каплепадения (ГОСТ 6793—74) 88—89 °С, число омыления 100 мг КОН/г (ГОСТ 21749—76), кислотное число 32 мг КОН/г (ГОСТ 5985—79).

Торфяной воск — сложная смесь углеводородов и некоторых их производных. Электронограммы составляющих торфяного воска показывают, что кристаллическая часть его состоит из воска и парафинов, а аморфная включает асфальтены и масла. Торфяной воск (битум), производимый на заводе горного воска (Минская обл., БССР), содержит ~56 % восков, 23 % парафинов, 20 % масел и до 1 % асфальтенов. Температура плавления его не менее 70 °С, он хорошо сплавляется с парафином, церезином, буроугольным воском. Асфальтены, содержащиеся как в торфяном, так и в буроугольном воске, при нагреве не размягчаются, а набухают, выделяют газообразные продукты и спекаются. При наличии асфальтенов в восках повышается твердость и хрупкость последних. Ввиду дефицитности торфяного воска применение его в модельных составах ограничено.

Стеарин — смесь твердых жирных кислот. Основа его — стеариновая кислота, а в качестве примесей содержатся преимущественно пальметиновая и олеиновая кислоты. Стеариновая кислота $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ — насыщенная одноосновная жирная кислота,

представляет собой бесцветную кристаллическую массу с температурой плавления 69,6 °С, растворимую в органических растворителях. Получают стеарин из животных жиров, а также из гидрированных растительных масел расщеплением их на жирные кислоты и глицерин с последующей дистилляцией жирных кислот либо без нее. Для изготовления моделей применяют обычно дистиллированный стеарин первого и второго сортов.

Стеарин как компонент модельных составов обладает следующими существенными недостатками: склонностью к взаимодействию с гидролизированным раствором этилсиликата, что приводит к образованию дефектов на поверхности отливок; омылением при выплавлении в горячей воде. Кроме того, стоимость стеарина высока и он дефицитен, так как получается из пищевых продуктов. Поэтому составы со стеарином не могут быть рекомендованы. Их заменяют составами на основе парафина с церезином, буроугольным воском, синтетическими восками и другими компонентами, например ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3), ИПЛ-2, МВС-19А.

Канифоль (гарпиус) — твердая составная часть смолистых веществ хвойных деревьев, содержит 80—95 % смоляных кислот (общая формула $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$), остальное — нейтральные неомыляемые вещества. Представляет собой хрупкое стекловидное вещество плотностью 1007—1085 кг/м³, меняющее цвет в зависимости от состава и метода обработки от светло-желтого (почти бесцветного) до темно-бурого. При нагреве в интервале температур 52—70 °С канифоль размягчается. Она нерастворима в воде, но хорошо растворяется в эфире, спирте, ацетоне, скипидаре, бензоле, жирных маслах. Для модельных составов используют обычно сосновую канифоль высшего и первого сортов (ГОСТ 19113—73) зольностью не более 0,04 % и с температурой размягчения не менее 66 °С. Сосновую канифоль получают либо после отгонки с водяным паром летучей части сосновой смолы (живичная канифоль), либо непосредственным извлечением (экстракцией) бензином из сосновой смолы (экстракционная канифоль). В модельных составах канифоль применяют обычно в сочетании с парафином, церезином, полистиролом, полиэтиленом.

Карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ или полный амид угольной кислоты (техническая мочеви́на) — кристаллический, хорошо растворимый в воде материал белого или светло-желтого цвета (плотность 1335 кг/м³). Получают карбамид нагревом аммиака и углекислого газа до 150 °С при давлении до 45 МПа.

Карбамид плавится при температуре 129—134 °С и в расплавленном состоянии обладает высокой жидкотекучестью; хорошо заполняет полости форм без применения давления. Быстро охлаждаясь в металлической пресс-форме, карбамид затвердевает, образуя прочную и точную (ввиду незначительной усадки) модель с гладкой поверхностью. Ценным технологическим свойством карбамида является то, что при нагреве он не имеет стадии размягчения, поэтому модели и стержни из карбамида не деформируются при повышении температуры до 100 °С, например, при заливке удаляемых растворением в воде карбамидных стержней воскообразными модельными составами

на основе парафина (при выполнении в моделях сложных, изогнутых или расширяющихся полостей).

Карбамид (ГОСТ 2081—75) выпускают двух марок: А — для промышленности и животноводства, Б — для сельского хозяйства. Для моделей рекомендуется продукт марки А, поставляемый в виде кристаллов или гранул белого цвета, содержащих, % по массе: не менее 46,3 азота, в пересчете на сухое вещество, не более 0,6 биурета; 0,01—0,02 свободного аммиака, не более 0,2 воды и не более 0,005 нерастворимых в воде веществ.

Азотные и азотнокислые соли щелочных металлов — нитраты и нитриты калия и натрия — используют в некоторых водорастворимых модельных составах.

Нитрат натрия NaNO_3 (натриевая, или чилийская, селитра) — кристаллическое вещество плотностью $\sim 2100 \text{ кг/м}^3$, с температурой плавления 308°C . При нагреве выше этой температуры разлагается сначала с выделением нитрата натрия NaNO_2 , а затем с выделением азота и образованием Na_2O . Натуральная селитра имеет примеси других солей (NaCl , Na_2SO_4); легко растворяется в воде. Натриевую селитру получают главным образом синтетически, нейтрализацией азотной кислоты.

Нитрат калия KNO_3 (калиевая селитра) — кристаллическое вещество плотностью $1900\text{—}2100 \text{ кг/м}^3$, с температурой плавления 339°C . При нагреве выше этой температуры выделяется кислород и происходит образование нитрита калия KNO_2 , дальнейший нагрев до более высоких температур приводит к разложению соли с выделением азота. Нитрат калия хорошо растворяется в воде, особенно в горячей. В природе встречается обычно в смеси с другими солями. Получают его в большинстве случаев искусственно из нитрата натрия.

Полистирол — синтетический термопластический материал, получаемый полимеризацией стирола ($\text{C}_2\text{H}_5\text{—CH=CH}_2$). В зависимости от методов изготовления различают блочный и эмульсионный полистиролы. Для изготовления модельных составов следует применять блочный полистирол, отличающийся большой чистотой и малой зольностью ($\sim 0,04\%$), значительно меньшей, чем у эмульсионного ($0,48\%$).

Полистирол (ГОСТ 20282—74) имеет аморфную структуру, бесцветен, обладает практически абсолютной водостойкостью, высокой химической стойкостью к кислотам и щелочам, нерастворим в спиртах и бензине, растворим в ароматических углеводородах и многих эфирах. При обычной температуре полистирол представляет собой твердое упругое вещество плотностью $1050\text{—}1070 \text{ кг/м}^3$. Теплостойкость его (обычно $70\text{—}80^\circ\text{C}$) значительно снижается с увеличением содержания мономера (стирола). Низкомолекулярные полимеры малопрочны и хрупки, но по мере увеличения степени полимеризации возрастает их прочность и снижается хрупкость.

Преимущество низкомолекулярных полистиролов в том, что при нагреве они легко переходят в вязкую жидкость. Это позволяет отливать модели из низкомолекулярного полистирола без приме-

нения высокого давления и значительного перегрева. Высокомолекулярные полистиролы при нагреве не плавятся, а при температуре $80\text{—}150^\circ\text{C}$ переходят в высокоэластичное, каучукоподобное состояние. Модели из полистирола и составов на его основе можно изготавливать на специальных литьевых машинах (например термопластовых машинах) при температуре $180\text{—}230^\circ\text{C}$ и давлении $50\text{—}200 \text{ МПа}$.

Полистирол для вспенивания — синтетический полимерный материал в виде шаровидных бесцветных или мутно-белых гранул диаметром от $0,1$ до $4\text{—}5 \text{ мм}$. Каждая гранула состоит из множества замкнутых ячеек, заполненных порообразователем — легко испаряющейся жидкостью (обычно изопентаном). В процессе нагрева при $80\text{—}90^\circ\text{C}$ полистирольная основа гранул размягчается, а изопентан, имеющий температуру кипения $\sim 28^\circ\text{C}$, превращаясь в пар оказывает давление на пластифицированную оболочку ячеек, и гранулы вспениваются, значительно увеличивая свой объем.

По технологии, применяемой на Охтинском НПО «Пластполимер», гранулы полистирола для вспенивания получают беспрессовым методом вводя изопентан в процессе суспензионной полимеризации стирола. Свойства полученного продукта во многом зависят от молекулярной массы полимера (она может изменяться в пределах $30\,000\text{—}60\,000$), количества введенного изопентана (обычно $3\text{—}5\%$) и количества остаточного мономера, которое стараются ограничить $0,1\text{—}0,35\%$, так как стирол токсичен, а при содержании в гранулах более $0,5\%$ он вызывает их слипание. Для изготовления литейных моделей, в соответствии с ТУ 6-05-1650—73 выпускается полистирол суспензионный для вспенивания, литейный (ПСВ-Л). Специально для отливки пенополистироловых моделей под давлением в Охтинском НПО «Пластполимер» разработан полистирол марки ПСВ-ЛД (ТУ 6-05-05-148—81).

Полиэтилен — синтетический полимер, состав которого соответствует общей формуле $[(\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—})]_n$. Полиэтилен — твердое однородное, полупрозрачное бесцветное вещество, состоящее из кристаллической и аморфной фаз. При быстром охлаждении расплава полиэтилена он полностью переходит в аморфное состояние, становится мягким, приобретая вязкость при обычных температурах. Аморфное состояние полиэтилена весьма неустойчиво, и он кристаллизуется, не переходя, однако, полностью в кристаллическое состояние. Кристаллическая фаза в полиэтилене определяет его твердость и теплостойкость, а присутствие аморфной фазы придает ему свойство высокой эластичности.

Обычный высокомолекулярный полиэтилен с молекулярной массой до $35\,000$ имеет температуру плавления $110\text{—}130^\circ\text{C}$ в зависимости от метода получения. Он тверд и прочен, эластичен, устойчив против деформации при температуре до 90°C , стоек к воздействию влаги, зольность его не превышает $0,08\%$, плотность $920\text{—}950 \text{ кг/м}^3$. Полиэтилен устойчив к действию щелочей, соляной и органических кислот, не взаимодействует с гидролизованными растворами этилсиликата, дешев. При температуре выше 80°C растворяется в угле-

водородах. Процесс полимеризации этилена ($H_2C = CH_2$) может быть осуществлен при высоком (до 250 МПа) и низком давлениях. Соответственно различают полиэтилены высокого давления (ГОСТ 16337—77 Е) и низкого (ГОСТ 16338—77). Существенные недостатки полиэтилена — значительная линейная усадка (до 4 %) и сравнительно высокая вязкость в расплавленном состоянии.

В последние годы получили применение так называемые полиэтиленовые воски, как улучшающие добавки в выплавляемые модельные составы, например, на основе парафина (МВС-15 и др.). Полиэтиленовые воски представляют собой низкомолекулярные полиэтилены (молекулярная масса 2000—3000), получаемые термической деструкцией полиэтилена высокого давления, имеют температуру плавления 95—110 °С, отличаются малой зольностью. Свойства некоторых полиэтиленовых восков, поставляемых в соответствии с ТУ 6-05-1516—72, приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Свойства некоторых полнэтиленовых восков

Полнэтиленовый воск	Температура каплепадения по Уббелюде, °С	Вязкость при 140°С, сП	Твердость по пенетromетру, мм при 25 °С	Плотность при 20 °С, кг/м³	Зольность, %	Кислотное число, мг КОН/г	Теплостойкость, °С	Свободная линейная усадка, %	Предел прочности при изгибе, МПа
ПВ 10	80	7—17	1,0	850	0,018	—	50	0,96	2,95
ПВ 200	103—105	200—250	0,3	880	0,01	0,08	85	2,6	7,8
ПВ 300	105—108	300—350	0,03	920	0,01	0,09	88	2,5	7,9
ПВ 1000	112—115	950—1000	0,01	950	0,01	0,08	90	2,5	7,9

5.4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

Предварительное приготовление большинства модельных составов состоит в поочередном или одновременном расплавлении составляющих, фильтровании расплавов и разливке их в формы-изложницы. В условиях серийного и массового производства расплав можно не сливать в изложницы, а подавать либо непосредственно на операцию изготовления модели либо на приготовление пастообразного состава. При подготовке выплавляемых модельных составов используют до 90 % возврата (состава, бывшего в употреблении), собранного при удалении моделей из оболочек форм. Не следует нагревать состав более чем на 50—60 °С выше температуры плавления. Возврат модельного состава, содержащего легко омыляемые компоненты, например стеарин, необходимо не только освежать, но и периодически регенерировать (технология регенерации описана в 1-м издании книги). Разработаны методы, обеспечивающие надежное разделение выплавляющей среды (обычно горячей воды) и модельного состава [104].

Приготовление легкоплавких воскообразных составов. Модельные составы группы 1 на основе парафина, церезина и других легко-

плавких материалов готовят в водяных, глицериновых или масляных банях с электрическим или газовым подогревом. Применяют для этой цели также термостаты.

Исходные материалы перед загрузкой измельчают до кусков размером не более 50 мм, что ускоряет процесс расплавления. При изготовлении составов из хорошо смешивающихся материалов компоненты загружают и расплавляют в порядке возрастания температур их плавления.

При изготовлении сплавов, содержащих этилцеллюлозу, сначала расплавляют составляющие, в которых этилцеллюлоза хорошо растворяется, например церезин, канифоль, стеарин. Температуру расплава повышают до 120—140 °С, после чего постепенно, в несколько приемов, при непрерывном перемешивании вводят этилцеллюлозу в виде тонкого порошка (просеянного через сито № 020). После растворения этилцеллюлозы (через 20—25 мин) вводят остальные составляющие сплава, перемешивают полученный расплав, фильтруют его через металлическую сетку либо через марлю, сложенную в 2—3 слоя. Готовые составы разливают в ванночки или противни (изложницы), чтобы получить плитки толщиной не более 40 мм.

Приготовление пастообразных составов. Пастообразные составы готовят охлаждением расплава при одновременном непрерывном перемешивании его до пастообразного состояния. Устройства для приготовления пастообразных составов либо выполняют в виде отдельных установок, либо объединяют с машинами для изготовления моделей.

Установки для приготовления пастообразных составов могут быть с лопастными, поршневыми и шестеренными смесителями.

Установка с лопастными смесителями, показанная на рис. 5.1, предназначена для приготовления пастообразных модельных составов типов ИПЛ-2, Р-3, ПС 50-50 либо аналогичных им по свойствам и подачи к запрессовочному устройству.

Бачки-смесители 2 (2 шт.), а также верхний 3 и нижний 5 цилиндры, служащие для подачи готового модельного состава под давлением к запрессовочному устройству, помещены в резервуар 6, заполненный теплопередающей жидкостью (водой, маслом, глицерином), которую нагревают с помощью электронагревательных элементов 7. Температура теплопередающей жидкости автоматически поддерживается на уровне, соответствующем пастообразному состоянию модельного состава.

Бачки-смесители работают поочередно. В то время как в одном из них готовится паста, из другого готовый состав подается к запрессовочному устройству. Оси смесителей 9 с закрепленными на них лопастями 10 приводятся во вращение от электродвигателя через редуктор. Электродвигатель с редуктором и переходной втулкой смонтированы на поворотном кронштейне 14, жестко соединенном с вертикальной осью. Поворачивая кронштейн 14, можно присоединять электропривод с помощью втулки 13 поочередно к осям левого и правого смесителей.

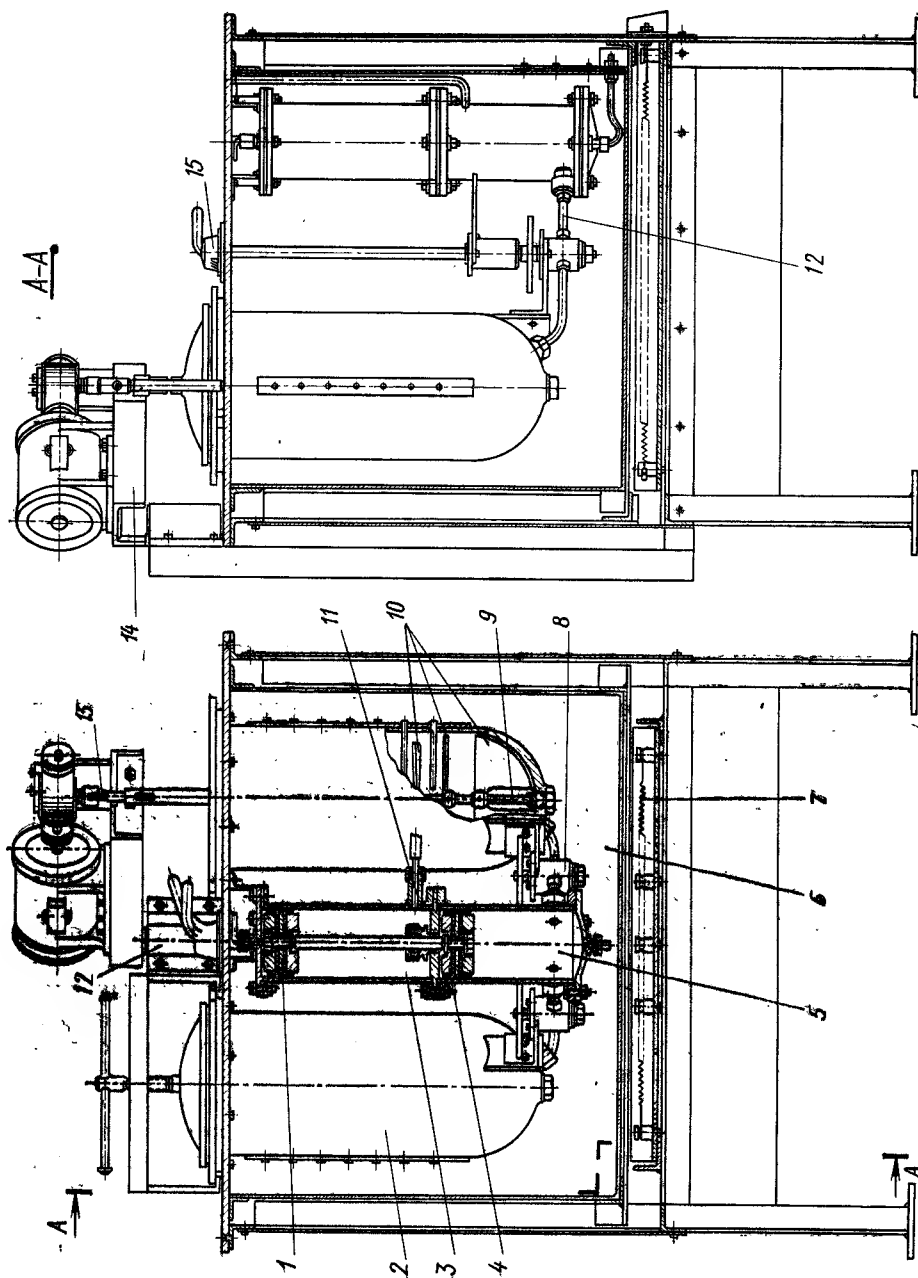


Рис. 5.1. Малогабаритная установка с двумя ленточными смесителями для приготовления пастообразного модельного состава

Модельный состав за 20—25 мин перемешивания приобретает пастообразное состояние. Затем электропривод отключают и присоединяют к оси второго смесителя, а бачок с готовым составом закрывают крышкой. Далее поворотом рукоятки 15, связанной с перепускными клапанами 8 трубами 12, соединяют полости бачка, содержащего готовый пастообразный состав, с полостью нижнего цилиндра 5, служащего для нагнетания модельного состава к месту запрессовки его в пресс-формы. Поршень 4 нижнего цилиндра 5 и поршень 1 верхнего (пневматического) цилиндра 3 закреплены на общем штоке. При подаче сжатого воздуха через штуцер 11 в верхний цилиндр шток с поршнями поднимается вверх, постепенно занимая крайнее верхнее положение. При этом модельный состав засасывается в нижний цилиндр 5. Затем перекрывают клапан 8 и подают сжатый воздух через штуцер в верхнюю часть цилиндра 3. При этом поршень 1, а следовательно, и поршень 4 опускаются, и модельный состав под давлением подается к запрессовочному устройству.

Малогабаритные устройства с поршневыми смесителями, а также со смесителями в виде шестеренного насоса представляют собой одно целое с установками для изготовления моделей. Тираспольский завод литейных машин им. С. М. Кирова выпускает установки мод. 651 для приготовления пастообразных составов типов ИПЛ, Р-3, ПС, температура расплава которых не превышает 80 °С. В установке объединены плавильный агрегат, емкостной бак, пастоприготовительный агрегат, две насосные станции, обеспечивающие подачу нагревательной воды с температурой, соответствующей расплавленному и пастообразному состояниям модельного состава, а также шкафы управления.

Установка универсальна, так как может работать и в автоматической линии в комплекте с двумя карусельными автоматами мод. 653, и в сочетании со шприцами клапанного типа различной конструкции, приводимыми в действие вручную, при обслуживании до 20 рабочих мест запрессовки. Исходные материалы (возврат и свежие добавки) загружают в плавильный агрегат, состоящий из верхнего и нижнего баков. Днище верхнего бака выполнено в виде трубчатой решетки, на которую попадают и быстро расплавляются куски твердых свежих добавок. По трубам циркулирует пар. Температура воды, поступающей от насосно-обогревательной станции автоматически поддерживается на уровне 80—90 °С. Этой водой модельного состава перекачивается центробежным насосом в емкостной бак, из которого самотеком поступает в пастоприготовительный агрегат с шестеренным смесителем. Необходимое для замешивания в модельный состав количество воздуха может поступать либо за счет подсоса из атмосферы при заполнении смесителя расплавом через открытую воронку, либо через ротаметр сжатый воздух вводится в герметически присоединенную к смесителю трубу для подвода расплава. Приготовленный модельный состав поступает в обогреваемый пастосборник, откуда пневмати-

ческими насосами двойного действия по трубопроводу транспортируется при заданном давлении к запрессовочному устройству автоматов для изготовления моделей.

Установка мод. 651 имеет электрическое и пневматическое управление исполнительными механизмами и может работать как в автоматическом, так и в наладочном режиме. Температура пастообразного состава регулируется в пределах 40—60 °С. Содержание воздуха в составе также регулируется и может составлять до 20 % по объему. Наибольшая производительность установки при непрерывном режиме работы 0,063 м³/ч. Давление модельного состава при подаче в запрессовочные устройства (в пастопроводе) регулируется и может составлять до 1 МПа. Температура пара 100—110 °С, давление 0,11—0,14 МПа, расход 25 кг/ч, расход сжатого воздуха при давлении 0,5 МПа не более 0,5 м³/ч, давление его 0,4—0,6 МПа, расход воды не более 1 м³/ч, общая установленная мощность 34,1 кВт, габаритные размеры установки (при расположении агрегатов в линию) 7600 × 2700 × 1850 мм.

Для приготовления пастообразного модельного состава из расплава с температурой не более 80 °С при больших масштабах производства предназначена установка мод. 652А с наибольшей производительностью до 0,5 м³/ч. Принцип приготовления пастообразного состава и устройства агрегатов для осуществления этого процесса аналогичны используемым в установке мод. 651, но число пастоприготовительных агрегатов увеличено до четырех, насосно-нагревательных станций до восьми. Общая мощность установки 133,1 кВт (в том числе электродвигателей 37,1 кВт), а габаритные размеры при расположении агрегатов в линию 21350 × 5620 × 2410 мм.

Шестеренные смесители наиболее производительны, надежны в работе и компактны, поэтому ими в последние годы заменяют смесители других типов (лопастные, поршневые), как в крупных, так и в малогабаритных установках. Преимущество шестеренных смесителей-насосов в малогабаритных установках для приготовления и запрессовки пастообразных составов заключается в том, что стабильность их работы в меньшей степени зависит от свойств модельных составов, прежде всего реологических. Имеется опыт применения установок с шестеренными насосами даже для изготовления моделей из такого вязкого и тугоплавкого модельного состава, как КПсЦ.

На рис. 5.2 изображена схема автомата для изготовления моделей конструкции НИИТАвтопром и обслуживающей его установки для приготовления пастообразного состава с шестеренным смесителем конструкции Московского прожекторного завода (авторы Ю. Д. Иванов и А. Р. Рабинович).

Плавильный агрегат 1, бак-отстойник 2, обогревательные и другие устройства, обслуживающие эти узлы, подобны применяемым в установке мод. 651 (описана выше). При использовании модельного состава ПЦБК 58-24-13-5 температура воды, подаваемой насосной станцией III, поддерживается в пределах 95—97 °С. Обогревающая бак 2 вода, подаваемая насосной станцией II, имеет температуру

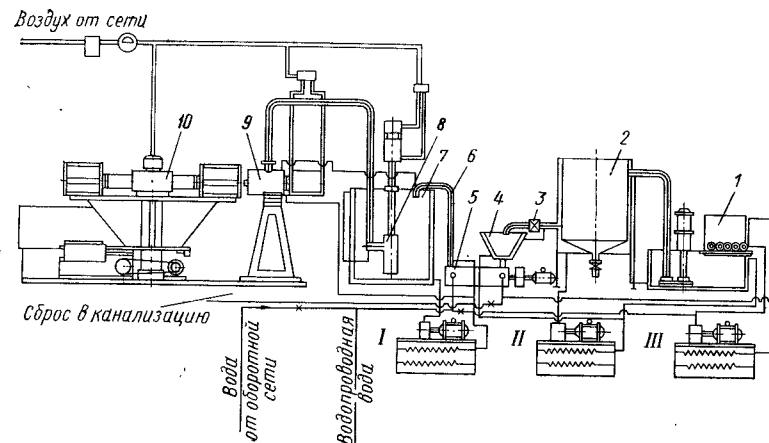


Рис. 5.2. Схема автоматической установки конструкции НИИТАвтопрома для изготовления моделей из пастообразного состава

75—80 °С. Температура воды, подаваемой насосной станцией I соответствует температуре указанного модельного состава в пастообразном состоянии, т. е. равна 52—56 °С.

Перекачиваемый центробежным насосом из бака плавильного агрегата 1 в бак 2 сплав Р-3 должен иметь температуру 80—85 °С. Трубопровод во избежание образования настылей после операции перкачивания следует продувать.

Для приготовления пасты расплав модельного состава из бака-отстойника 2 поступает через кран 3 и воронку 4 в шестеренный смеситель 5. Готовый пастообразный состав из смесителя 5 по обогреваемому трубопроводу 6 подается в бак-накопитель 7, а из него насосом 8 в автоматическое запрессовочное устройство 9, обслуживающее десятипозиционный автомат 10.

Перед началом работы шестеренного смесителя (рис. 5.3) корпус его подогревают водой, подаваемой насосной станцией III (см. рис. 5.2), или паром для очистки от затвердевших остатков модельного состава. После прогрева смесителя в его охлаждающую рубашку впускают воду из водопроводной сети, обеспечивая интенсивное охлаждение перерабатываемого в пасту расплава модельного состава. Одновременно с охлаждением смесителя начинается подача в него расплава. В корпусе смесителя на двух валах смонтированы 10 пар шестерен. Каждая пара шестерен, находящихся в сцеплении, отделена от соседних стальной перегородкой. В каждой паре одна из шестерен свободно посажена на вал, а вторая — на шпонке, в соседней паре — наоборот. Валы вращаются от общего привода в одном направлении.

Таким образом, шестерни на одном валу четные, а на другом нечетные вращаются вместе с валом, приводя в движение свободно насаженные парные шестерни, в результате чего смежные пары

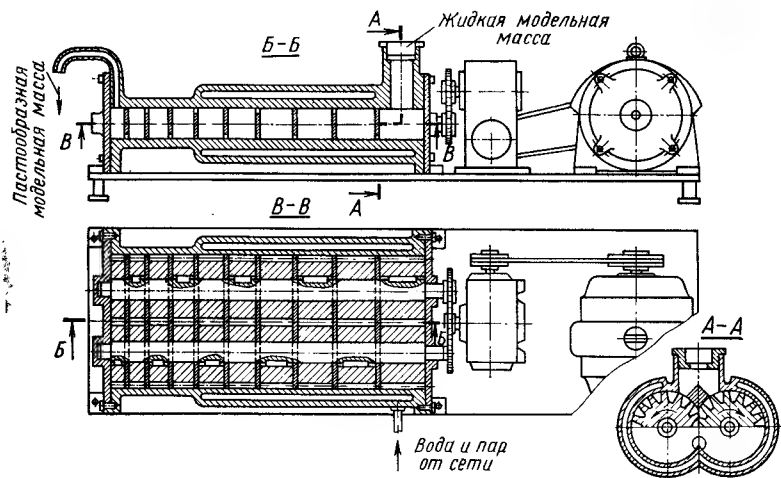


Рис. 5.3. Схема шестеренного многоступенчатого смесителя конструкции завода «Пржектор»

шестерен вращаются в разные стороны. Ширина шестерен в каждой паре постепенно уменьшается в направлении движения модельного состава, чем обеспечивается постоянный напор его в направлении выдавливания, а также улучшается заполнение впадин зубьев и перемешивание состава.

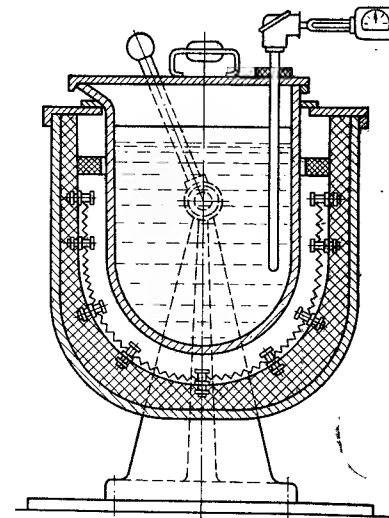
Поступающий к первой паре шестерен расплав заполняет впадины зубьев, переносится в нижнюю зону и выдавливается входящими в зацепление зубьями через отверстие перегородки в соседнюю обойму, где подвергается воздействию вращающейся в обратном направлении второй пары шестерен, перемещающей модельный состав вверх. Со второй пары шестерен состав попадает на третью и так, охлаждаясь до температуры пастообразного состояния и многократно перетираясь, проходит смеситель и выдавливается 10-й парой через обогреваемый трубопровод в бак-накопитель пасты.

В процессе продвижения через шестеренный смеситель модельный состав не только многократно перемешивается, приобретая однородность, но и интенсивно охлаждается, так как заполняет небольшие объемы между зубьями, в результате чего удельная поверхность охлаждения по сравнению с цилиндрическими (поршневыми и лопастными) смесителями увеличивается в 20—30 раз.

Конструкция шестеренного смесителя обеспечивает не только высокое качество приготовления пасты и большую производительность этого агрегата, но и надежность его работы ввиду того, что практически исключена опасность застывания в смесителе модельного состава, активно подаваемого шестернями через перегородки обойм.

Воздух, замешиваемый в пасту, поступает через отверстие в загрузочном канале.

Рис. 5.4. Поворотная электропечь сопротивления для варки тугоплавких модельных составов



Приготовление тугоплавких модельных составов. Модельные составы на основе канифоли, типов КПсЦ, МАИ и др. готовят в поворотных электропечах, оснащенных терморегуляторами (рис. 5.4). Подготовка составляющих заключается в размельчении их до кусков размером не более 40 мм. Обычно вначале расплавляют канифоль, затем при температуре 140—160 °С добавляют высокообразные компоненты, повышают температуру до 200—220 °С и вводят в расплав полистирол (небольшими порциями, при постоянном перемешивании).

Все модельные сплавы необходимо готовить в хорошо вентилируемых помещениях. Бани, термостаты и электропечи для приготовления модельных сплавов следует помещать в вытяжные шкафы либо под специальные зонты с принудительной вытяжной вентиляцией. При этом необходимо соблюдать правила противопожарной безопасности.

Приготовление составов группы 7 с твердыми наполнителями может быть рассмотрено на примере состава РМ, основой которого служит Р-3, твердым наполнителем — порошок карбамида, а добавкой, стабилизирующей суспензию, состоящую из расплава воскообразного материала и твердых частиц мочевины, является канифоль. Вначале в баке-термостате с глицериновой баней расплавляют состав Р-3, взятый в количестве 55—56 % общей массы приготавливаемого состава. В нагретый до температуры не более 110 °С расплав замешивают измельченную канифоль (4—5 % общей массы состава) до полного расплавления и смешивания ее с материалом основы. Карбамид предварительно измельчают в шаровой мельнице, просеивают через сито с ячейками не крупнее № 020 и высушивают в печи-термостате при 100—110 °С, после чего постепенно, при непрерывном перемешивании, вводят в расплав Р-3 и канифоли. В приведенном рецепте количество карбамида составляет 40 % всей массы приготавливаемого состава, однако оно может быть увеличено до 50 % путем сокращения количества Р-3.

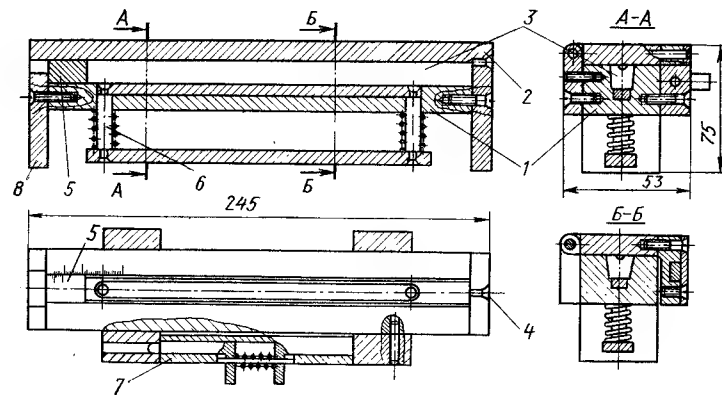
5.5. КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ МОДЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СОСТАВОВ

В связи с высокими требованиями к размерной точности и качеству поверхности отливок, изготавливаемых литьем по выплавляемым моделям, необходимо систематически контролировать качество

Известны многочисленные методики контроля физико-механических, химических и технологических свойств, многие из которых заимствованы в материаловедении и являются стандартными. Особо тщательному контролю подвергают вновь применяемые материалы и составы. Контролируют прочность, пластичность, твердость, теплоустойчивость, температуру размягчения (или вязкопластичного пастообразного состояния), плавления (или каплепадения), воспламенения, кипения, реологические свойства в вязкопластичном состоянии (вязкость, предельное напряжение сдвига), плотность, зольность, содержание механических примесей, объемную, а также линейную (свободную и затрудненную) усадку, расширение при нагреве, жидкотекучесть, качество поверхности моделей или специальных образцов. Проверяют также химическую активность модельных материалов по отношению к пресс-формам и суспензиям, смачиваемость последними, содержание влаги и воздуха (в пастообразных смесях, приготовляемых с замешиванием воздуха), продолжительность затвердевания и охлаждения в пресс-форме, теплопроводность и теплоемкость, сплавимость, стабильность свойств при многократных переплавах, микро- и макроструктуру, ликвацию, характер объемной усадки. Осуществляют предусмотренный стандартами на материалы химический контроль, например определяют кислотное число, число омыления, содержание свободных жиров, коксуемость и др. Большое внимание уделяется вопросам токсичности модельных материалов при комнатной температуре и в нагретом состоянии, а также их паров, продуктов разложения (деструкции) и сгорания. При создании новых модельных материалов контролируют состав их отходов и влияние этих продуктов на окружающую среду, а также устанавливают возможность использования в народном хозяйстве отходов модельных составов.

Определение линейной усадки модельного состава. Методика определения свободной и затрудненной линейной усадки модельного состава заключается в замере изменения длины образца в определенном интервале температур. Усадку модельного состава выражают в процентах.

Величину свободной линейной усадки можно с достаточной точностью определить на образцах квадратного сечения 10×10 мм и длиной 200 мм, изготовленных в пресс-формах конструкции, представленной на рис. 5.5. Пресс-форма имеет миллиметровую шкалу, нанесенную вдоль рабочей полости. Величину усадки измеряют прибором с помощью нониуса на вставке 5, свободно перемещающейся в рабочей полости пресс-формы. Вставка **при** запрессовке модельного



1 — корпус; 2 — крышка; 3 — рабочая полость; 4 — запрессовочное отверстие; 5 — вставка с нониусом для замеров усадки; 6 — толкатель для выема образца; 7 — запорное устройство

Свободную линейную усадку вычисляют по формуле

$$y_{\text{лин}} = [(l_{\text{п}} - l_{\text{об}})/l_{\text{п}}] 100\%,$$

По методике НИИТАвтопрома свободную линейную усадку определяют на образце в виде усеченного конуса прибором, показанным на рис. 5.6. Рабочая длина образца 100 мм. Корпус 1 прибора представляет собой водоохлаждаемую стальную пресс-форму. В верхней части ее находится датчик 2, устанавливаемый перед введением модельного состава в крайнее верхнее положение, фиксируемое защелкой 3. Одновременно стрелка индикатора 4 устанавливается на ноль. Модельный состав запрессовывается при горизонтальном положении пресс-формы, затем ее ставят вертикально и измеряют усадку, когда стрелка индикатора в течение 30 мин показывает одну и ту же величину.

Испытывается не менее двух образцов, причем усадка их не должна иметь колебаний более 0,08 %. Для определения колебаний свободной и затрудненной усадок И. И. Горюновым применен специальный образец (рис. 5.7). Из каждого испытуемого модельного состава необходимо изготовить при одинаковых условиях (температура прессформы, давление прессования и др.) по 10 образцов и обмерить их:

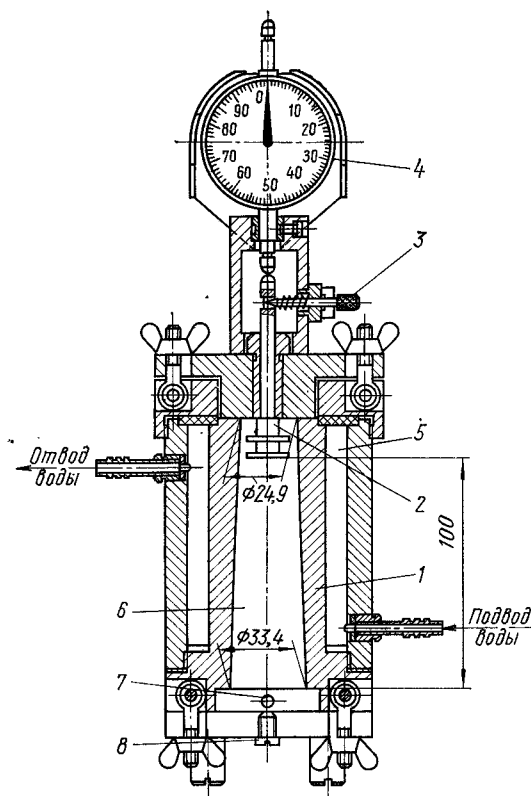


Рис. 5.6. Прибор конструкции НИИТАвтопрома для замеров линейной усадки модельных составов: 1 — корпус; 2 — датчик; 3 — защелка; 4 — индикатор; 5 — водяная рубашка; 6 — рабочая полость; 7 — запрессовочное отверстие; 8 — место установки термометра (винт удаляется)

На основе результатов замеров образцов определяют колебания усадки по формуле

$$K_y = [(X_{\max} - X_{\min}) / X_n] 100\%,$$

где $X_{\max}$, $X_{\min}$ — максимальный и минимальный размеры модели, мм; X_n — контролируемый размер полости пресс-формы.

Определение прочности. Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике получили прочностные испытания модельных составов на статический изгиб. При этом одновременно может быть определена стрела прогиба образца, косвенно характери-

зующая пластичность состава. Для исследований могут быть применены специальные приборы для испытаний на статический изгиб и разрывные машины небольшой мощности с фиксируемыми нагрузками до 200—500 Н и ценой деления шкалы не более 0,5 Н, снабженные реверсорами. Один из вариантов конструкции реверсора показан на рис. 5.8.

По методике НИИТАавтопрома испытания проводят на машине РМ-3 с использованием реверсора специальной конструкции. Для испытаний каждого модельного состава отбирают до 10 образцов, не имеющих наружных дефектов (трещин, вмятин, утяжин, спаев, раковин, кривизны, незаполнения контура, вкраплений посторонних примесей и др.). Результаты испытаний образцов, в изломе которых обнаружены внутренние дефекты, не учитывают. Обычно испытывают образцы квадратного сечения 6×6 мм и длиной 60 мм, а расстояние между опорами реверсора составляет 50 мм. Для изготовления образцов применяют пресс-формы, один из вариантов конструкции которых представлен на рис. 5.9. После испытаний замечают фактические размеры поперечного сечения образца в месте

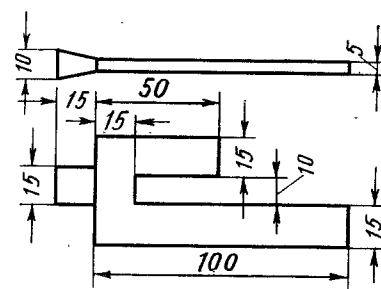


Рис. 5.7. Образец для определения свободной и затрудненной усадок модельного состава

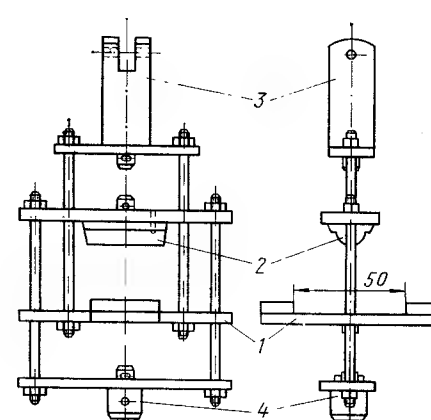


Рис. 5.8. Реверсор для испытаний прочности модельных составов на изгиб: 1 — опорная площадка; 2 — нож; 3 — верхняя тяга; 4 — нижняя тяга

излома с точностью до 0,05 мм. Предел прочности (МПа) подсчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{изг}} = M_p / W = 3Pl / (2bh^2),$$

где M_p — изгибающий момент, вызванный разрушающей нагрузкой; W — модуль (момент) сопротивления изгибу; P — нагрузка, вызывающая разрушение образца при изгибе; l — длина расчет-

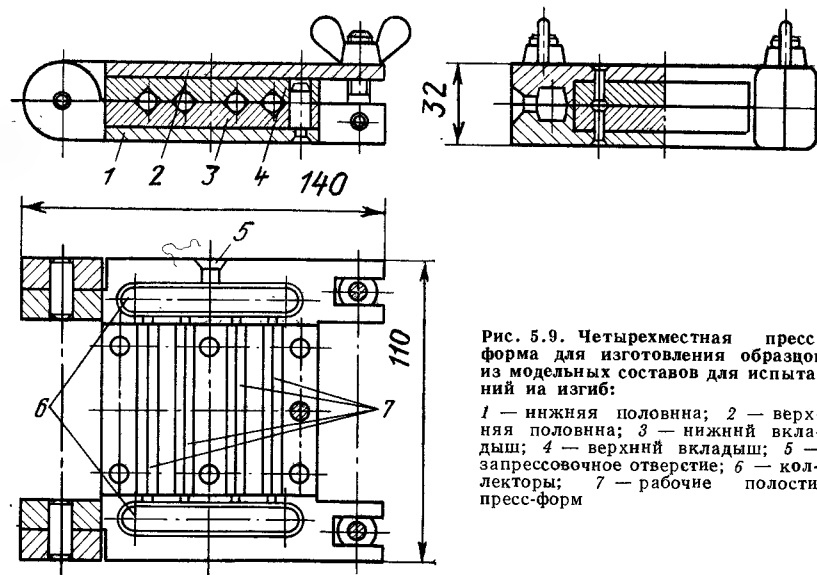


Рис. 5.9. Четырехместная пресс-форма для изготовления образцов из модельных составов для испытаний на изгиб:

1 — нижняя половина; 2 — верхняя половина; 3 — нижний вкладыш; 4 — верхний вкладыш; 5 — запрессовочное отверстие; 6 — коллекторы; 7 — рабочие полости пресс-форм

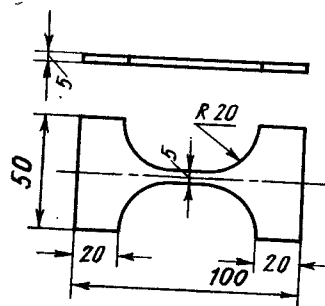


Рис. 5.10. Образец прямоугольного сечения для испытания прочности модельных составов при растяжении

ного участка образца (расстояние между опорами); b — толщина образца в месте излома; h — высота образца в месте излома.

Образцы испытывают при постоянной температуре (обычно 20 °С) и термостатируют при этой температуре в течение 2 ч. По результатам испытаний не менее трех образцов устанавливают среднее

значение предела прочности при изгибе. Испытания на изгиб — не единственный метод оценки прочности модельных составов. По методике, разработанной в МВТУ им. Н. Э. Баумана, прочность при растяжении проверяли на образцах круглого сечения (типа гагаринских), изготавливаемых в многоместной пресс-форме, и испытывали на разрывной машине с использованием специальных захватов. В НИИТАвтопроме для испытаний на растяжение был применен образец прямоугольного сечения (5×5 мм в рабочей части), изображенный на рис. 5.10. Конструкция образца обеспечивает удобство и надежность крепления его в захватах.

Определение твердости. Показатель твердости при испытаниях на пенетрометре — глубина погружения в исследуемый образец стальной иглы под действием постоянного груза за определенное время. Глубину погружения условно обозначают H_T и выражают в миллиметрах. Пенетрометр имеет столик для установки образца в горизонтальном положении в стойку, по которой кронштейн свободно передвигается вверх и вниз. На консоли кронштейна находится боек с иглой. В пальцевую канавку бойка для удержания его во взведенном (верхнем) положении входит специальный фиксатор. Образец для испытаний имеет форму шайбы толщиной не менее 10 мм со строго параллельными основаниями, поверхность которых должна быть гладкой. Шток с грузом опускают поворотом фиксатора, при этом игла погружается в испытуемый образец. По истечении 10 с по индикатору с точностью до 0,01 мм фиксируют величину погружения иглы в образец. Испытывают не менее трех образцов из каждого исследуемого модельного состава и определяют среднее значение H_T .

Определение термического расширения. Для определения используют прибор конструкции НИИТАвтопрома (рис. 5.11). Показателем термического расширения является отношение увеличения длины образца при нагреве к его первоначальной длине, выраженное в процентах:

$$l_t = (\Delta l / l_0) 100 \%,$$

где Δl — прирост длины образца, мм; l_0 — начальная длина образца (при температуре 20 °С), мм.

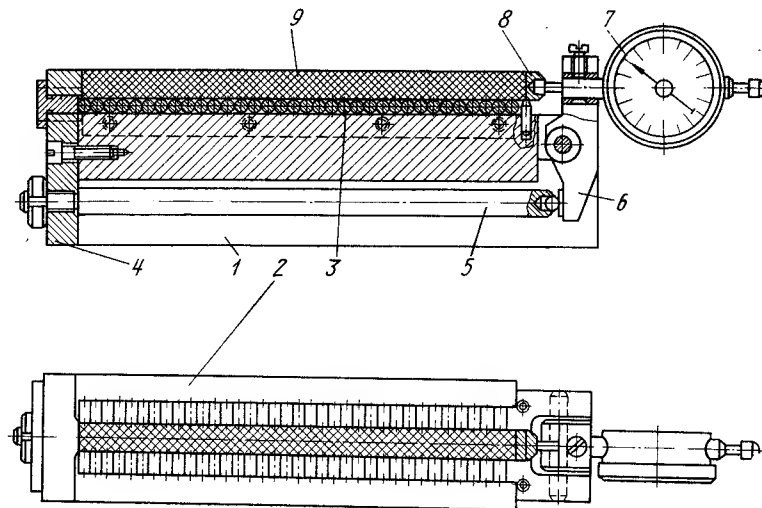


Рис. 5.11. Прибор для определения термического расширения модельного состава

Прибор состоит из корпуса 1 с боковыми стенками 2, между которыми расположен роликовый конвейер 3, задней стенки 4, компенсатора 5 и рычага 6, с укрепленным на нем индикатором 7. Образец 9 длиной 150 мм с поперечным сечением 10×10 мм устанавливают на роликовый конвейер 3 вплотную к задней стенке 4; второй конец образца упирается в подушку 8, надетую на индикатор. С помощью компенсатора стрелку индикатора устанавливают на нуль при начальной температуре испытаний (20 °С). Затем прибор с образцом переносят в термостат, где температуру постепенно повышают. После повышения температуры на каждые 5 °С дают выдержку для прогрева образца в течение 30 мин, после чего фиксируют показания индикатора, что позволяет графически изобразить ход процесса расширения.

От каждой разновидности модельного состава испытывают не менее трех образцов и результаты испытаний усредняют. К недостаткам этого метода относится то, что нагрев прибора и индикатора в процессе испытаний неблагоприятно сказывается на точности их, а температурный интервал испытаний ограничен ввиду того, что достоверность данных зависит от состояния образца. Малейшее размягчение его будет приводить к деформациям, искажающим результаты испытаний. Более достоверные данные о расширении модельных составов можно получить при дилатометрических испытаниях, либо по методике, разработанной в МАТИ, с использованием тензометрии.

Определение стойкости модельных составов к деформации при температуре 20 °С и нагреве (теплоустойчивости). Стойкость составов к деформациям под действием собственной массы при комнатной

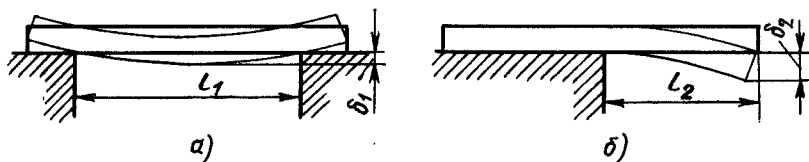
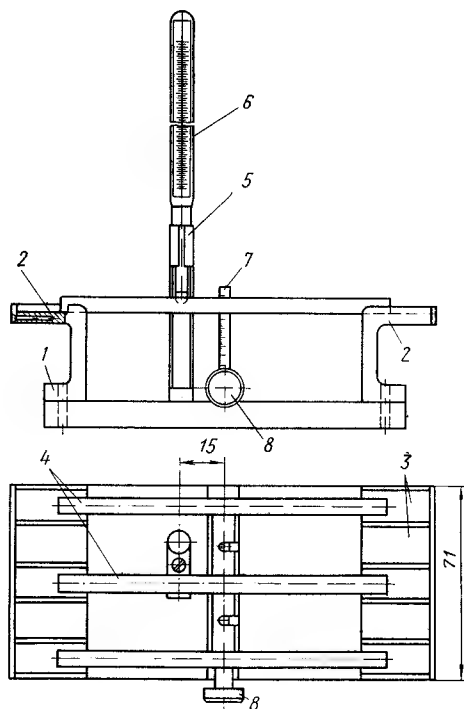


Рис. 5.12. Схемы испытаний модельных составов на теплоустойчивость

и повышенных температурах оценивают либо стрелой прогиба δ_1 образца, концы которого лежат на двух опорах (рис. 5.12, а), либо расстоянием δ_2 , на которое опускается конец консольно расположенного образца (рис. 5.12, б). Испытания при повышенных температурах ведут в термостате. Размеры образцов, расстояние между опорами l_1 или длина консольной части l_2 , а также продолжительность выдержки при заданной температуре для получения сравнимых результатов при всех испытаниях должны быть постоянными.

Для контроля теплоустойчивости модельных составов в НИИТАвтопроме разработан прибор (рис. 5.13). Испытания заключаются в определении температуры, при которой прогиб образца квадратного сечения 6×6 мм, длиной 120 мм при расстоянии между опорами 100 мм достигает 2 мм под действием собственной массы. Прибор,



в гнезда которого устанавливают для испытаний одновременно три образца, ставят в термостат с терморегулятором, поддерживающим температуру воздуха в месте установки образцов с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Для контроля температуры в державку прибора помещают термометр 6, ртутная головка которого расположена между двумя соседними образцами.

Испытания легкоплавких воскообразных модельных составов на парафиновой основе начинают, обычно с температуры $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$. Прогиб об-

Рис. 5.13. Прибор для определения теплоустойчивости модельных составов по методике НИИТАвтопрома:

1 — основание; 2 — опоры для образцов; 3 — гнезда для установки образцов; 4 — образцы; 5 — державка для термометра; 6 — термометр; 7 — миллиметровая линейка для замеров деформации образцов; 8 — поворотная шпилька для подвода линейки к образцу

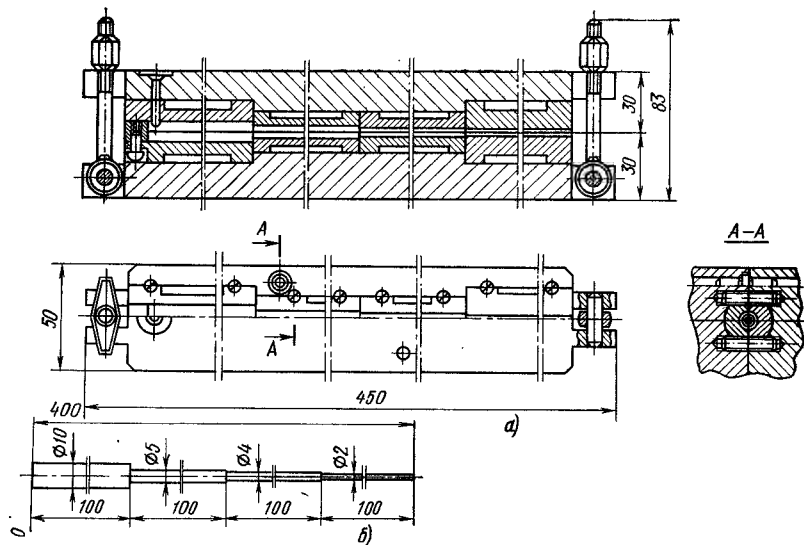


Рис. 5.14. Пресс-форма для определения текучести модельных составов (а) и размеры образца (б)

разцов контролируют после двухчасовой выдержки при заданной температуре с помощью миллиметровой линейки 7, подводимой к образцу поворотной шпилькой 8. Если прогиб образца при начальной температуре испытаний не достигает 2 мм после двухчасовой выдержки, то температуру воздушной среды в термостате повышают на 2°C и повторяют измерения после выдержки в течение 2 часов. Испытания продолжают, повышая каждый раз температуру прогрева образца на 2°C , пока не будет достигнута температура, при которой прогиб средней части образца достигнет 2 мм. За температуру теплоустойчивости принимают такую, которая на 1°C ниже температуры, вызвавшей деформацию образца на 2 мм.

Определение текучести. Ее определяют для оценки способности модельного состава при заданных параметрах процесса изготовления моделей (температуры и состояния модельного состава, давления запрессовки) заполнять полость пресс-формы.

По методике НИИТАвтопрома оценивают текучесть по длине спирали, получающейся при запрессовке модельного состава в спиральную полость пресс-формы.

По методике МАТИ текучесть модельного состава в пастообразном состоянии оценивают длиной цилиндрического ступенчатого образца переменного сечения, изготовляемого в пресс-форме (рис. 5.14), общая длина рабочей полости которой 400 мм. Полость состоит из четырех сообщающихся, concentрично расположенных цилиндрических частей равной длины (100 мм), диаметр которых последовательно уменьшается от 10 до 2 мм. Состав запрессовывают

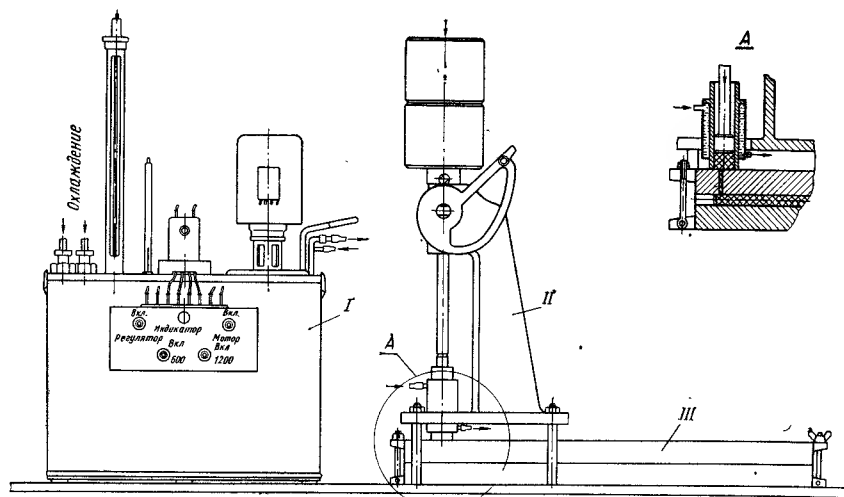


Рис. 5.15. Прибор МАТИ для определения текучести модельных составов

в полость большего диаметра при горизонтальном положении пресс-формы. Максимальные размеры образца, которые могут быть получены при высокой текучести модельного состава, показаны на рис. 5.14, б. В целях получения более точных характеристик и сопоставимых результатов текучесть модельного состава определяют на установке (рис. 5.15), состоящей из ультратермостата I, запрессовочного устройства с постоянным давлением прессования II и описанной выше пресс-формы III (рис. 5.14).

Ультратермостат обслуживает запрессовочное устройство; цилиндр его имеет рубашку, полость которой гибкими шлангами соединена с термостатом. В процессе работы его жидкость-теплоноситель непрерывно циркулирует в полости, образованной рубашкой цилиндра. Таким образом поддерживается постоянная температура цилиндра и загружаемого в него модельного состава. Эту температуру можно регулировать в широких пределах (20—180 °С). Для создания постоянного давления на поршень прессующего устройства использован видоизмененный лабораторный копер (типа 031). Грузовая платформа копра опускается на шток-поршень, создавая постоянную нагрузку в течение всего периода прессования. Прессующее давление можно регулировать изменением груза, устанавливаемого на платформу копра.

Продолжительность затвердевания и скорости охлаждения модельного состава в пресс-форме могут быть определены по методике НИИТАвтопрома с помощью прибора, показанного на рис. 5.16. Прибор состоит из пресс-формы I для изготовления образца ступенчатой формы, состоящего из пяти кубических частей, расположенных симметрично и имеющих последовательно уменьшающиеся поперечные сечения 30×30; 20×20; 15×15; 10×10 и 5×5 мм. В пресс-форме

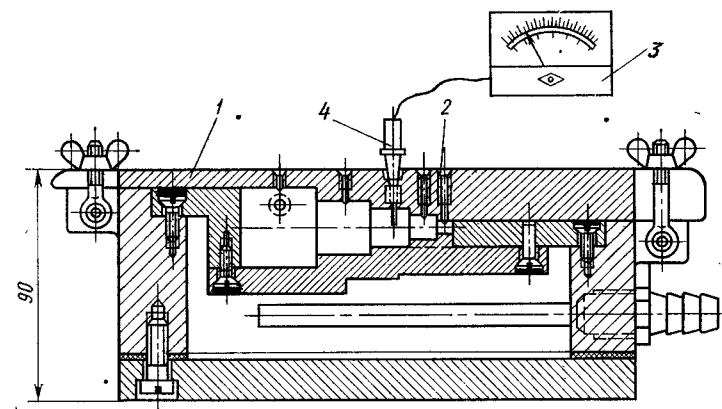


Рис. 5.16. Прибор для определения времени затвердевания и скорости охлаждения модельного состава в пресс-форме

имеются пять резьбовых отверстий 2 для ввинчивания температурных датчиков 4, подключенных к электронному потенциометру 3. Модельный состав запрессовывают сбоку, в полость кубика большего объема. Перед запрессовкой устанавливают датчик так, чтобы конец его находился в средней части, образуя сечение контролируемой толщины. Отсчитывают продолжительность охлаждения с помощью секундомера, включаемого в момент окончания запрессовки. Отсчет времени продолжают до тех пор, пока стрелка потенциометра не покажет температуру на 3 °С ниже температуры теплоустойчивости исследуемого модельного состава. Возможен нагрев или охлаждение пресс-формы водой до оптимальной температуры.

Исследования реологических свойств модельных составов позволяют объективно оценить поведение их при изготовлении моделей. Первые систематические исследования реологических свойств модельных составов были проведены в ИПЛ АН УССР А. С. Лакеевым и Г. П. Борисовым. Методы и результаты этих исследований описаны в работе [38]. Для определения наиболее важных структурно-механических характеристик модельных составов использовали модернизированный капиллярный вискозиметр АКВ-2М, усовершенствованный прибор К-2, обычно применяемый для определения прочности консистентных смазочных материалов, а также пластометр конструкции П. А. Ребиндера. Определяли или рассчитывали по результатам экспериментальных исследований статическое и динамическое предельные напряжения сдвига, наименьшую пластическую вязкость разрушенной структуры, жидкоподвижность, пластичность потока массы, пластическую прочность структуры. Экспериментально подтверждено, что модельные составы можно рассматривать как дисперсные системы с коагуляционным образованием структуры. Результаты исследований использованы как для оценки реологических свойств различных модельных составов, так и для оптими-

заций рецептур составов ИПЛ, а также для установления оптимальных условий работы с ними, например, при определении необходимой температуры пластообразного состава при запрессовке.

При исследованиях реологических свойств модельных составов для определения истинной вязкости и предельного напряжения сдвига может быть использован ротационный вискозиметр РВ-8 конструкции М. П. Воляровича, применяемый при исследованиях суспензий.

Определение содержания воздуха в пастообразных составах. Простейшим методом является отбор пробы готового модельного состава, например, с помощью цилиндрического пробника, расплавления пробы и определения разницы объемов образца из пастообразного состава с воздухом и монолитного образца той же массы. Описание методики определения содержания воздуха в модельном составе, предложенной в НИИТАвтопроме, приведено в работе [48].

Определение стойкости модельного состава к взаимодействию его со связующим раствором. По методике МАТИ образцы, имеющие форму пластин, выдерживают в растворе связующего. Продолжительность выдержки выбирают в соответствии с максимально возможной в производственных условиях продолжительностью контакта непросохшей суспензии с поверхностью модели, но не более 24 ч. Состояние поверхности образцов оценивают визуально. Затем осматривают излом образцов для определения возможных изменений в поверхностном слое модельного состава. Далее проверяют зольность модельного состава и сравнивают с зольностью образцов, не имевших контакта со связующим. Определяют также (взвешиванием на аналитических весах) изменение массы образцов до и после испытаний.

По методике НИИТАвтопрома взвешенный образец модельного состава (~15 г) погружают в раствор связующего и выдерживают в течение 2 ч при контактной температуре, а затем помещают в кипящую воду на 2,5 ч. Воду охлаждают, модельный состав снимают с ее поверхности, исследуют кислотное число, температуру каплепадения и зольность модельного состава. По результатам исследований судят о стойкости модельного состава при взаимодействии со связующим. Плавкость, зольность, коксуюмость, кислотное число, число омыления определяют стандартными методами. Например, плавкость оценивают температурами плавления или каплепадения, определяемыми соответственно по ГОСТ 4255—75 и ГОСТ 6793—74, зольность — по ГОСТ 1461—75, количество содержащейся воды — по ГОСТ 2477—65, кислотное число — по ГОСТ 5985—79, коксуюмость (на приборе ЛКН-70) — по ГОСТ 8852—74, число омыления — по ГОСТ 21749—76. До настоящего времени актуальна проблема создания наиболее обоснованных и объективных унифицированных методов исследований и контроля модельных материалов и централизованного производства приборов для их проведения.

5.6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

Процесс изготовления моделей в пресс-формах включает подготовку пресс-формы, введение в ее полость модельного состава, выдержку модели до затвердевания, разборку пресс-формы и извлечение моделей, а также охлаждение моделей до температуры производственного помещения.

Используют обычно один из следующих способов заполнения пресс-форм модельным составом: свободной заливкой расплава; заливкой под давлением расплава или смеси расплава с порошком твердого наполнителя; запрессовкой в пастообразном состоянии; заливкой под давлением пластифицированных (размягчаемых нагревом) гранул компактного или вспенивающегося термопласта; вдуванием или засыпкой гранул материала, вспенивающегося при последующем прогреве (водой, паром и т. д.).

В отдельных исключительных случаях модели для получения штучных отливок можно изготовить обработкой резанием из блоков вспененного полистирола.

Подготовка пресс-форм. Пресс-формы очищают (протирают, обдувают), смазывают их рабочую поверхность, собирают, в ряде случаев подогревают или охлаждают. Очистку, т. е. удаление частиц модельного состава, оставшихся в углублениях и отверстиях полости пресс-формы, производят обычно обдувкой сжатым воздухом. Состав, прилипший к пресс-форме, удаляют деревянными счищалками. Протирают пресс-формы марлевым или ватным тампоном. Крупные и сложные пресс-формы смазывают перед каждой операцией. При изготовлении из пастообразных составов на парафиновой основе мелких, несложных по форме моделей, возможно периодическое смазывание пресс-форм через 10—12 запрессовок. В качестве смазочного материала используют чистое трансформаторное масло, или касторовое масло, смешанное с этиловым спиртом в соотношении 1 : 1 для уменьшения вязкости. В условиях массового производства моделей на полуавтоматических и автоматических агрегатах смазывание пресс-форм осуществляется обдувкой их рабочих поверхностей масляной эмульсией.

При ручном изготовлении моделей смазочный материал наносят тонким ровным слоем с помощью ватного или матерчатого тампона. Густой и неравномерный смазочный материал вызывает образование на поверхности моделей раковин, складок, шероховатости и является причиной неточного выполнения контуров модели, особенно острых кромок.

Температура пресс-формы оказывает важное, часто решающее влияние на качество моделей, особенно при изготовлении моделей свободной заливкой. Пресс-формы перед началом работы обычно подогревают введением в них модельного состава. При этом первые (одна-две) модели направляются в переплав.

Оптимальная температура пресс-формы зависит от свойств состава и формы моделей. Например, для парафиново-стеариновых составов она находится в пределах 22—28 °С. Колебания температуры

пресс-формы вызывают снижение размерной точности моделей, а низкая температура ее увеличивает внутренние напряжения в моделях и приводит к короблению и образованию трещин в них.

За время разборки для выема модели и сборки пресс-формы обычно не успевают охладиться до оптимальной температуры. Поэтому применяют принудительное охлаждение их с помощью натурального или искусственного льда, обдувкой, поливанием водой, погружением в воду, пропусканием холодной воды через специальные полости в пресс-формах. Последний способ является наилучшим в условиях массового производства.

Изготовление моделей запрессовкой из пастообразных составов, содержащих воздух. Этот метод был впервые применен и нашел наибольшее распространение в отечественной практике. Пастообразный модельный состав запрессовывается с помощью разнообразных устройств — от простейшего ручного шприца до сложных многопозиционных машин-автоматов.

Ручные шприцы применяют в лабораториях, а также в опытном производстве. Предпочтительнее применять шприцы, вместимость которых достаточна для заполнения модельным составом нескольких пресс-форм. Однако следует учитывать, что чем больше диаметр шприца, тем труднее вручную создать необходимое давление. На практике приняты следующие оптимальные предельные размеры ручных шприцев: диаметр поршня 25—50 мм, длина рабочей части цилиндра 100—250 мм, диаметр выпускного отверстия шприца 2—6 мм.

Выпускное отверстие должно быть возможно большего диаметра. При малом диаметре заполнение формы происходит медленно, что приводит к переохлаждению модельного состава, образованию спаев и других неровностей на поверхности модели, нечеткому выполнению контуров, особенно в тонких частях и острых углах. Кроме того, при малом диаметре выпускного отверстия шприца увеличивается скорость струи модельного состава, что способствует захвату воздуха и образованию раковин в моделях. Известны случаи, когда только увеличением диаметра этого отверстия удавалось полностью устранить брак моделей. Давление на модельный состав при запрессовке вручную составляет обычно 0,1—0,4 МПа.

Шприцы изготовляют из углеродистой конструкционной стали. Рабочие поверхности цилиндра и поршня притирают. Перед началом работы корпус и поршень шприца подогревают до 40—50 °С и в дальнейшем поддерживают эту же температуру. Заполнение шприца всасыванием модельного состава возможно только при условии применения жидкой пасты и в случае, если поршень и цилиндр тщательно притерты друг к другу. Чаше применяют способ наполнения шприца специальной лопаткой (ложкой).

В цехах серийного производства для изготовления моделей из пастообразных составов получили распространение малогабаритные установки, состоящие из пастоприготовительного и запрессовочного устройств. Последнее состоит из прессующего цилиндра или шестеренного насоса и обогреваемого гибкого шланга со шприцем на его

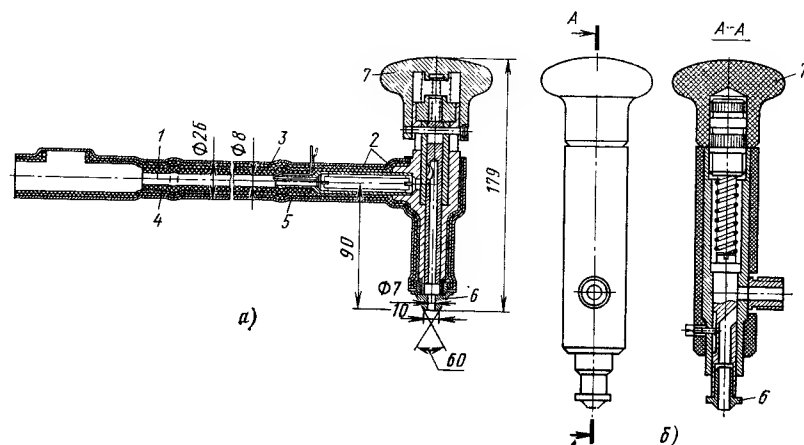


Рис. 5.17. Шприцы пистолетного типа для запрессовки модельного состава

конце. Обычно применяют шприцы пистолетного типа различных конструкций (рис. 5.17 и 5.18). Такие устройства используют для заполнения пресс-форм различной вместимости.

Пресс-формы устанавливают на стационарных или вращающихся столах. Для заполнения пресс-формы штуцер 6 (рис. 17, а и б) прижимают к ее литниковому отверстию, после чего нажатием на рукоятку 7 открывают доступ модельного состава из шланга в пресс-форму. Шланг 1 и корпус шприца (рис. 5.17, а) обогревают проводным нагревательным элементом мощностью 25 Вт при напряжении не более 36 В. Гибкий шланг состоит из рукава 3 из маслоустойчивой резины и двух тканевых прокладок 4 и 5, между которыми помещен нагревательный элемент 2. Сверху шланг обматывается киперной лентой.

На рис. 5.18 показан шприц конструкции РПЗ. Преимуществом его являются наличие усовершенствованного устройства для включения и возможность регулирования давления.

Установка с шестеренным насосом сконструирована и применена на Ижевском машиностроительном заводе, а затем модернизирована во ВНИИЛИТмаше (рис. 5.19). Она пригодна не только для составов на основе парафина, но и для смесей с более высокой температурой пастообразного состояния, например типа МАИ, что является положительным отличием этой установки от других.

В верхней части станины 1 установлен шестеренный насос 3, приводимый в движение от электродвигателя 2 через систему клиноременных передач. На этой же станине смонтированы стол 9 для установки пресс-формы, бачок 5 для модельного состава с водяной рубашкой 6, шприц (узел А) и система обогреваемых трубок, соединяющих между собой бачок 5, шестеренный насос и шприц.

Для приготовления пастообразного состава в бачок наливают жидкий состав. Вода в рубашке бачка подогревается с помощью элек-

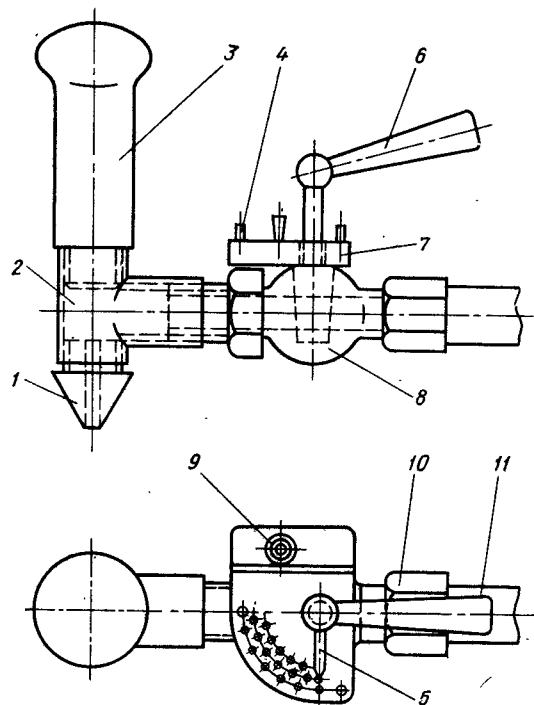


Рис. 5.18. Шприц конструкции РПЗ с регулируемым давлением:

1 — носок; 2 — корпус шприца; 3 — рукоятка шприца; 4 — ограничитель; 5 — фиксатор угла поворота рукоятки края; 6 — рукоятка края; 7 — шкала переключения края; 8 — корпус края; 9 — микровыключатель; 10 — соединительная гайка; 11 — пастопровод

троспирали, что позволяет точно регулировать температуру и поддерживать ее постоянной. Модельный состав из бачка по трубке 4 засасывается шестеренным насосом, шестерни которого вращаются с частотой 60 об/мин и перегоняют состав по трубке 8 в корпус шприца (через зазор 13 в полость 14) и из нее через трубку 7 вновь в бачок 5. В процессе такой перегонки модельный состав нагревает рабочие полости установки (насос, шприц, трубки), охлаждается и в течение 8—15 мин становится пастообразным.

Пресс-форму 10 ставят на стол 9, который благодаря винтовому устройству может перемещаться в вертикальном направлении. Воронку литника пресс-формы подводят к наконечнику шприца. При этом с помощью золотникового устройства в шприце отверстие трубки 8, подводящей модельный состав от шестеренного насоса, совмещается (как показано на рисунке) с отверстием 15 в трубке шприца, через которое модельный состав нагнетается в полость пресс-формы. Наконечник шприца оснащен электроподогревом.

В процессе запрессовки давление модельного состава регулируют изменением зазора 13 между трубкой 8 и золотником 11. Излишек состава, непрерывно подаваемого насосом, отводится через зазор 13 в возвратную трубку 7. После заполнения пресс-формы давление модельного состава начинает повышаться, в результате чего поднимается клапан 16. При опускании пресс-формы пружина 12

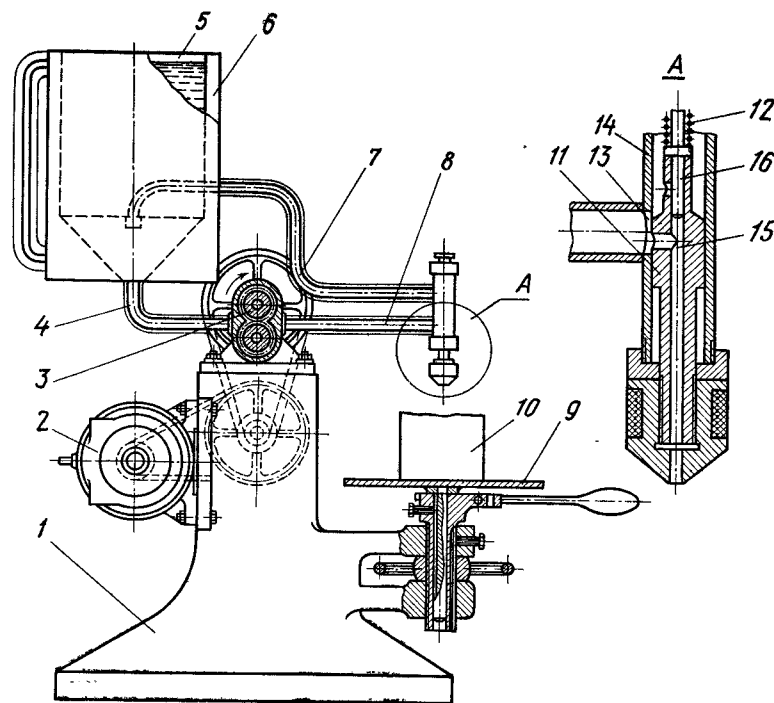


Рис. 5.19. Установка с шестеренным насосом для приготовления модельного состава и изготовления моделей

опускает золотник, отверстие в шприце перекрывается и состав вновь начинает поступать только в бачок 5. Для восполнения расхода модельного состава в бачок периодически добавляют расплав в смеси с измельченным твердым составом. В описанной установке вследствие постоянной циркуляции модельного состава и непрерывного перемешивания его шестеренным насосом достигается высокое качество модельной пасты.

В связи с развитием массового производства литья по выплавляемым моделям появилась существенная необходимость в высокопроизводительных автоматических машинах для изготовления выплавляемых моделей.

Автоматические установки для изготовления моделей из пастообразных составов (см. рис. 5.2) получили наибольшее распространение в крупных цехах массового производства мелких, преимущественно стальных отливок. Они включают агрегаты для плавления компонентов модельного состава, приготовления модельной пасты и запрессовочное устройство, объединенное с карусельным столом в один автоматический агрегат. Все установки агрегата выпускает Тираспольский завод литейных машин им. С. М. Кирова. Устройства для приготовления пастообразного модельного состава рассмотрены

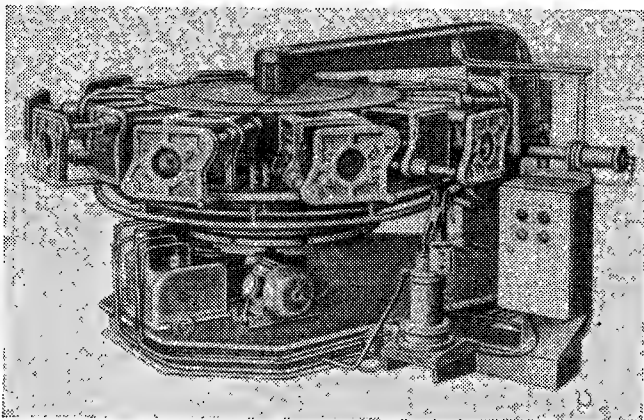


Рис. 5.20. Карусельный автомат мод. 653

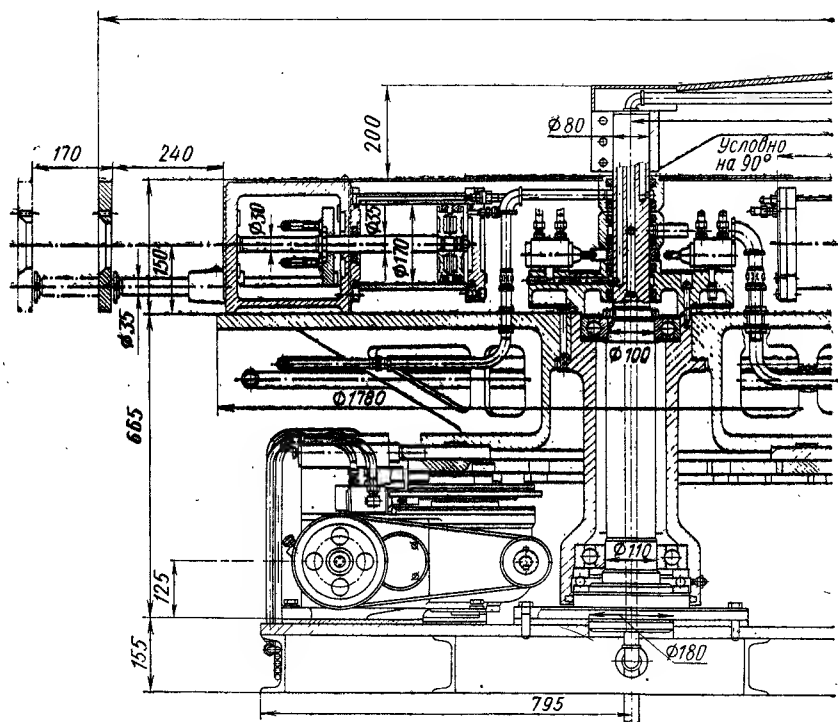
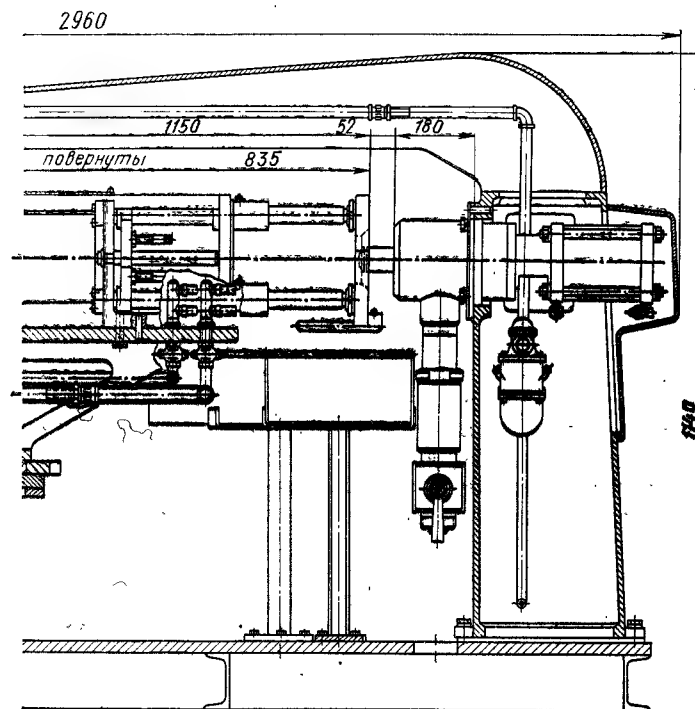


Рис. 5.21. Главный вид автомата мод. 653

выше. Карусельный автомат мод. 653 для изготовления модельных звеньев показан на рис. 5.20. Технические характеристики его следующие: производительность 190—360 звеньев в час, размеры поверхностей для крепления пресс-форм 250 × 250 мм, наименьшее расстояние между плитами для крепления пресс-форм 250 мм, темп работы стола 10—14—29 с, число устанавливаемых пресс-форм 10, ход подвижной плиты не менее 160 мм, расход воздуха не более 50 м³/ч, расход воды 3—4 м³/ч, давление сжатого воздуха не менее 0,5 МПа, усилие смыкания 10 кН, габаритные размеры 3700 × 2900 × 1400 мм. Главный вид автомата показан на рис. 5.21.

Карусельные столы в комплекте установок для изготовления моделей могут быть успешно использованы в условиях серийного и массового производства отливок различной формы и размеров. Конструкции применяемых карусельных столов могут быть классифицированы по степени механизации привода стола и операции по сборке и разборке установленных на нем пресс-форм, по циклу работы столов, их размерам, числу размещаемых на них пресс-форм и т. д. В условиях серийного производства применяют столы с ручным приводом.



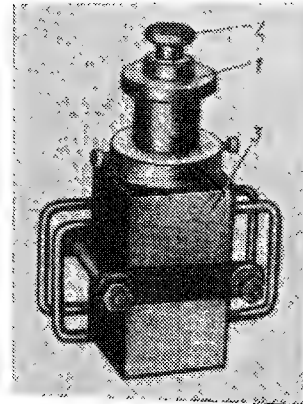
Для точного совпадения наконечника запрессовочного устройства и отверстия в пресс-форме столы снабжены фиксаторами, периодически останавливающими стол в определенном положении. Вода для охлаждения пресс-формы подается через устройство в полую ось стола. За последние годы СКБ точного литья в Тирасполе спроектировано, а заводом литейных машин им. С. М. Кирова освоено в производстве универсальное оборудование для приготовления модельных составов и изготовления моделей в условиях мелкосерийного и серийного производства. Так, создана полуавтоматическая линия мод. 6А50 для автоматизированного приготовления воскоподобных модельных составов в пастообразном состоянии, заполнения ими пресс-форм, предназначенных для ручной разборки и сборки, а также регулируемого избирательного охлаждения заполненных пресс-форм. Линия может работать по трем режимам с наибольшей производительностью соответственно до 32, 125 и 250 запрессовок в час и расходом модельного состава до 32 л/ч. Наибольшие размеры пресс-форм в плоскости разреза 350×250 мм. Давление прессования 0,1—0,3 МПа, температуру модельного состава на выходе из шестеренного смесителя можно регулировать в пределах 40—60 °С. Длина линии 4300 мм, ширина 3500 мм, высота 2300 мм.

Установка мод. 6А54 предназначена для изготовления моделей в условиях мелкосерийного и серийного производства. Эксплуатация установки возможна в составе полуавтоматической линии мод. 6А50, а также при работе в комплекте с любой шприцмашиной, аналогичной применяемой в этой линии и даже при использовании ручных шприцев.

Модели из расплавленных и полужидких составов без замешивания в них воздуха широко применяют в зарубежной практике. По сравнению с моделями, изготовленными из воскообразных составов, содержащих замешанный воздух, цельнолитые модели имеют прочность в 1,3—1,5 раза выше, большую твердость и поверхность лучшего качества. Однако получение стабильных по свойствам паст без воздушных включений представляет трудности, запрессовка таких составов усложняется, а при использовании расплавов в моделях появляются усадочные дефекты, для предупреждения образования которых используют подпрессовку затвердевающего модельного состава под давлением 10 МПа, а иногда и более.

Для сложных моделей переменного сечения с утолщенными узлами, удаленными от места подвода модельного состава, более эффективна подача сжатого воздуха в формирующуюся модель. Воздух при правильном выборе момента поддува создает внутри модели полости, подпрессовка через которые еще не затвердевшего полностью пластичного модельного состава, предотвращает образование наружных усадочных дефектов, повышает точность и стабильность размеров моделей. Однако образующиеся внутри пустоты нежелательны для некоторых моделей с тонкими частями, так как вследствие снижения прочности возможна их поломка, например, при удалении моделей из пресс-форм и нанесении на блоки слоев суспензии. К недостаткам монолитных плотных моделей относится то,

Рис. 5.22. Приспособление для запрессовки жидкого модельного состава



что они более теплопроводны, чем изготовленные из воздухоудерживающих пастообразных составов, весьма чувствительны к колебанию температуры воздуха в производственных помещениях, которое вызывает в них объемные изменения. Это особенно опасно в период формирования оболочек, так как может вызвать растрескивание еще непрочных ее слоев. Плотные монолитные модели оказывают также значительное давление на оболочку формы при нагреве в процессе выплавки (перед расплавлением модели).

Приспособление для запрессовки жидкого модельного состава под поршневым давлением (рис. 5.22) состоит из цилиндра 1 и точно подогнанного к нему поршня 2, изготовленных из среднеуглеродистой конструкционной стали. Собранный пресс-форму 3 устанавливают на стол пресса. Цилиндр 1 подогревают до температуры, близкой к температуре расплавленного модельного состава, и устанавливают на пресс-форму; затем в нее через цилиндр заливают модельный состав так, чтобы он заполнил всю полость пресс-формы и $\frac{2}{3}$ объема цилиндра. После этого в цилиндр вставляют предварительно подогретый поршень 2, на который давит шток пресса.

Продолжительность выдержки модельного состава под давлением составляет от нескольких секунд до 4—5 мин; ее выбирают с учетом температуры и свойств модельного состава, формы и размеров модели, размеров литникового хода в пресс-форме. Она должна быть не более того времени, в течение которого модельный состав полностью затвердевает в литниковом канале пресс-формы.

При изготовлении моделей из составов с повышенной вязкостью и быстро твердеющих, например типа КПсЦ, под давлением вводят всю порцию модельного состава, необходимую для заполнения пресс-формы. Для этого используют цилиндр 1 запрессовочного устройства такой вместимости, чтобы находящегося в нем состава с избытком хватило на заполнение пресс-формы и компенсацию усадки. При подготовке к запрессовке между пресс-формой 3 и цилиндром 1 прокладывают тонкую бумагу, которая перекрывает отверстие цилиндра. При запрессовке бумага прорывается и модельный состав заполняет полость пресс-формы.

Для запрессовки применяют рычажные, винтовые, пневматические и гидравлические прессы. Наибольшее распространение получил пневматический настольный пресс (рис. 5.23). К основанию 1 болтами прикреплен кронштейн 4, на котором установлены рабочий цилиндр 7 и золотниковый механизм 3. В полость цилиндра через золотниковое устройство подводят сжатый воздух, давление которого 0,4—

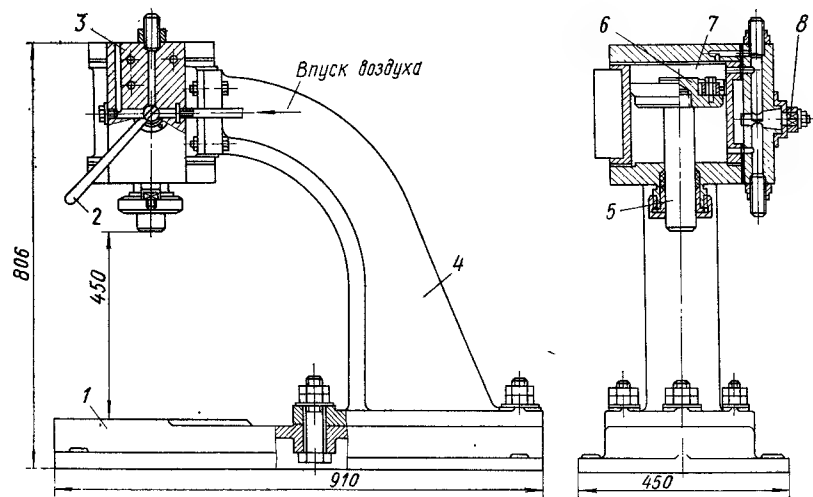


Рис. 5.23. Пневматический пресс для изготовления моделей

0,6 МПа. При повороте рукоятки 2 вниз открывается доступ через кран 8 сжатого воздуха в верхнюю камеру цилиндра. При этом воздух из нижней камеры цилиндра выходит в атмосферу через специальное отверстие. Поршень 6 через шток 5 оказывает давление на поршень запрессовочного устройства. Модель выдерживают под запрессовочным давлением до 10 кН, после чего поворотом рукоятки 2 открывают доступ сжатого воздуха в нижнюю камеру цилиндра и одновременно выход для воздуха в атмосферу из верхней камеры. Поршень пресса со штоком поднимается при этом вверх в исходное положение.

Представляет интерес способ изготовления моделей с применением вакуума и давления. Схема машины, предназначенной для изготовления сложных тонкостенных моделей с применением вакуума и давления, приведена на рис. 5.24. Здесь же показана модель ротора 9, изготовленная на этой машине. Пресс-форму 4 устанавливают на стол 3, который с помощью пневмопривода поднимают вверх. При этом пресс-форму прижимают к верхней плите 5 машины так, чтобы совместились литниковый ход в пресс-форме и отверстие в плите для подвода модельного состава. Снизу на пресс-форму надвигают кожух 2, перемещающийся с помощью воздушных цилиндров 8 и плотно прижимающийся к плите 5. Резиновая прокладка в месте стыка обеспечивает герметичность соединения.

Из кожуха 2 через трубку 1 откачивается воздух, а после создания вакуума через запрессовочное устройство 7 со скользящим клапаном 6 запрессовывают модельный состав в полость пресс-формы. Благодаря разрежению в полости формы и давлению на модельный состав удастся получить сложные модели без дефектов и с высокой точностью размеров (как модель 9, показанная на рисунке).

Рис. 5.24. Схема машины для изготовления сложной тонкостенной модели с применением вакуума и давления

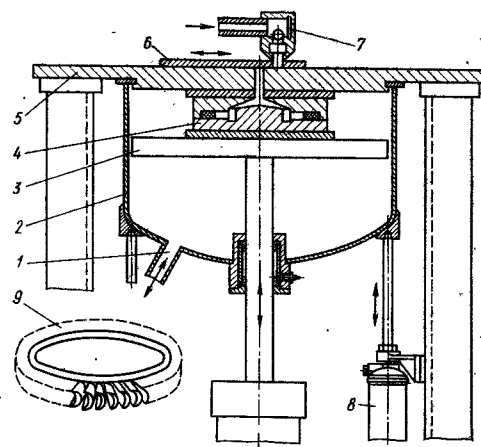
Изготовление моделей методом свободной заливки. При получении сплошных моделей этот метод малопродуктивен и не обеспечивает требуемой точности, поэтому имеет ограниченное применение, однако при изготовлении полых моделей метод является наиболее простым и не имеет указанных недостатков.

Сложные тонкостенные и крупные модели из парафиново-стеариновых сплавов отливают при температуре 80—90 °С, средние по размерам и сложности модели — при 70—75 °С. Температуру и продолжительность заливки устанавливают опытным путем.

Для расплавления модельного состава и поддержания его температуры в заданных пределах применяют водяные, глицериновые или масляные бани с устройством для автоматического регулирования температуры. Для заливки используют ковши из коррозионно-стойкой стали или фарфоровые. Заливают спокойно, по стенке литникового канала либо через воронку, вставленную в литниковое отверстие и подогретую до температуры заливки модельного состава. Это позволяет снизить потери теплоты модельного состава, ускорить затвердевание его в литниковой системе и улучшить питание затвердевающей модели расплавом, находящимся в воронке. Во избежание разбрызгивания и вспенивания модельного состава, последний иногда заливают по стеклянному, фарфоровому или стальному стержню диаметром 4—6 мм.

При охлаждении и затвердевании в пресс-форме уровень расплава в воронке быстро снижается и для компенсации усадки необходимо доливать модельный состав. Литниковый ход в пресс-форме следует выполнять достаточно массивным, коротким и простым по форме.

Метод свободной заливки применяют в зарубежной практике при изготовлении ртутных моделей. Перед заливкой ртути форму заполняют ацетоном, вытесняющим воздух и выполняющим роль смазочного материала. Затем в форму заливают ртуть, которая вытесняет ацетон. Для затвердевания ртути пресс-форму погружают в ванну с ацетоном либо с другим веществом, имеющим более низкую температуру плавления, чем ртуть (температура плавления ртути —38,87 °С). Ацетон охлаждают с помощью сухого льда до температуры —60 °С и ниже, вследствие чего ртуть затвердевает, при этом



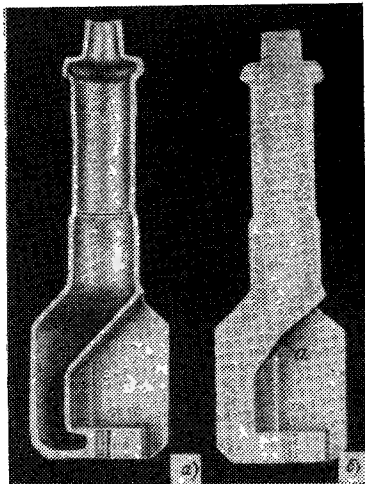


Рис. 5.25. Пустотелая (а) и сплошная (б) модели детали «тяги» в разрезе

она практически не дает усадки, что обеспечивает высокую размерную точность моделей.

По ртутным моделям изготовляют сложные отливки высокой точности, например детали радиолокационных установок, турбинные лопатки, крыльчатки, уникальный режущий инструмент. Были отлиты стальные детали диаметром до 1050 мм и массой до 135 кг. На отечественных предприятиях ртутные модели не применяют ввиду вредного воздействия паров ртути на организм человека.

Свободной заливкой расплава получают как сплошные, так и полые модели.

Применение пустотелых моделей имеет следующие преимущества: повышается точность отливок по форме и размерам, сокращается время изготовления моделей, так как выдержка в пресс-форме уменьшается примерно в 3 раза, уменьшается масса модельного блока, устраняется растрескивание оболочки вследствие расширения моделей при выплавлении, сокращается время выплавления моделей.

В серийном производстве наиболее доступным является следующий метод изготовления пустотелых моделей. Модельный расплав заливают в полость пресс-формы, выдерживают в ней до образования по контуру полости затвердевшего слоя толщиной 1,5—3 мм, после чего незастывшую часть модельного состава выливают либо через отверстие в нижней части пресс-формы, либо через литниковый канал. Пустотелые модели целесообразно применять при изготовлении отливок с толщиной стенок более 10 мм, а также отливок, имеющих массивные части.

Преимущества пустотелых моделей видны на примере изготовления тяги, представляющей собой сравнительно массивную деталь с местными утолщениями (рис. 5.25).

В производственных условиях модели (рис. 5.25, б) изготавливали из модельного состава КПсЦ. Большинство моделей имело утяжину на скосе а. Применение пастообразной парафиново-стеариновой смеси уменьшило этот дефект, но не устранило его полностью. При отливке пустотелых моделей из парафиново-стеариновой смеси утяжина на скосе (рис. 5.25, а) была полностью устранена. Толщину стенки полый модели выдерживали в пределах 2—2,5 мм. При меньшей толщине стенки прочность модели была недостаточной, а при большей — появлялись усадочные дефекты.

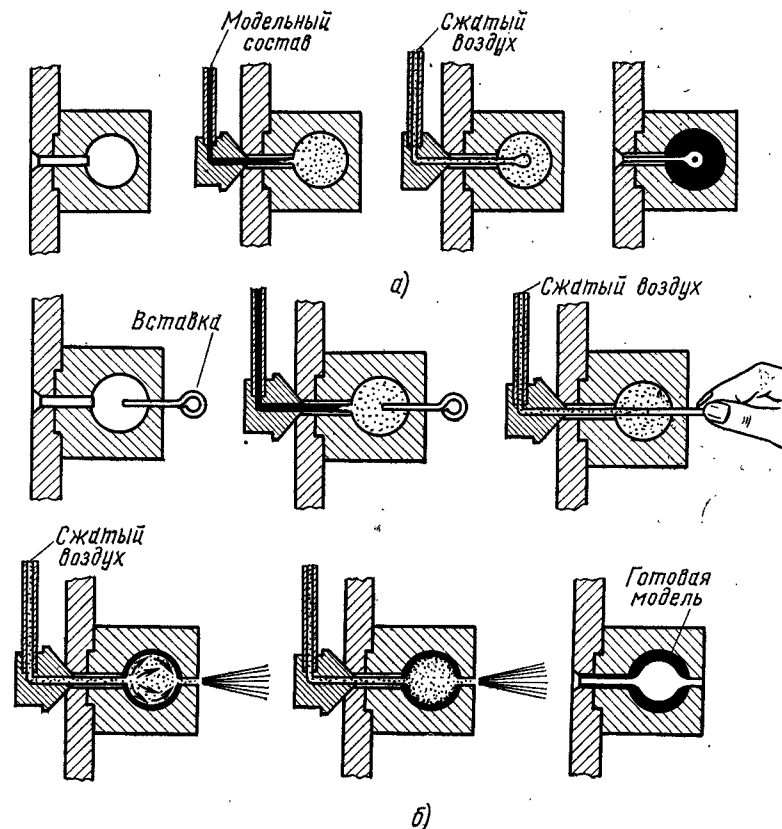


Рис. 5.26. Схемы процесса изготовления моделей:

а — с подпрессовкой модельного состава сжатым воздухом после заполнения пресс-формы расплавом; б — с выдуванием незатвердевшей части модельного состава сжатым воздухом для получения полый (оболочковой) модели

Таким образом, при изготовлении пустотелых моделей необходимо учитывать два важнейших фактора: точность и прочность. Применение модельных составов повышенной прочности позволяет уменьшить толщину стенки моделей до 2 мм.

В условиях крупносерийного и массового производства наиболее целесообразно применять способ изготовления пустотелых моделей, по которому незатвердевшую часть модельного состава удаляют продувкой сжатого воздуха. Воздух вдувают под избыточным давлением 0,2—0,3 МПа через литник и он выходит вместе с незатвердевшим модельным составом через отверстие в нижней части пресс-формы.

В зарубежной практике пустотелые модели изготавливают на пресс-машинах (рис. 5.26, а и б).

Изготовление выжигаемых моделей из компактного полистирола. Для изготовления моделей из весьма вязкого в нагретом состоянии полистирола можно использовать специальные прессы или стандартные (ГОСТ 10767—71) однопозиционные машины для литья под давлением термопластичных и термореактивных материалов, например, мод. Д-3328 и ДБ-3328 на 63—100 см³ запрессовываемого материала, либо Д-3231 на 125 см³. Такие автоматы выпускает Хмельницкий завод кузнечно-прессового оборудования. Термопластавтомат Д-3328 имеет давление впрыска 140 МПа, минимальное время впрыска 1,2 с, три зоны обогрева материального цилиндра, наибольшее расстояние между плитами для крепления пресс-форм 500 мм. Высота пресс-форм может изменяться в пределах 140—250 мм. Габаритные размеры автомата 3330 × 820 × 1666 мм. Как указывалось при рассмотрении свойств модельных материалов, применение моделей из полистирола ограничено из-за недостаточной технологичности его и образования вредных продуктов при термодеструкции полистирола, выделяющихся при выжигании моделей. Наиболее рациональная область применения полистироловых моделей — крупносерийное и массовое производство весьма мелких (с наибольшим размером 30—40 мм) и тонкостенных отливок, повреждение моделей которых из воскообразных составов может происходить уже при извлечении их из пресс-форм.

Пенополистироловые модели, удаляемые из оболочек форм выжиганием или растворением, можно изготавливать следующими способами: ванным, погружая металлическую пресс-форму, заполненную гранулами полистирола для вспенивания, в горячую воду; автоклавным; тепловым ударом — быстрым прогревом гранул во всем объеме полости пресс-формы вдуванием в нее перегретого пара через специальные инжекторы; вспениванием с помощью ТВЧ (путем диэлектрического нагрева смоченных жидким диэлектриком гранул; разработанным в МВТУ им. Н. Э. Баумана комбинированным методом — тепловым ударом в сочетании с ванным нагревом. Однако применение этих способов, особенно при изготовлении тонкостенных, протяженных и сложных по конфигурации моделей не обеспечивает стабильно высокого качества поверхности последних.

Наиболее приемлем разработанный в ХФ ВНИИЛИТмаш метод изготовления пенополистироловых моделей на термопластавтоматах специальной конструкции. Изготовление такого двухпозиционного термопластавтомата мод. 69213 (рис. 5.27) освоено Тираспольским заводом литейных машин им. С. М. Кирова. Особенностью этого автомата является то, что его запрессовывающее устройство последовательно производит впрыск пластифицированного нагревом полистирола для вспенивания в две пресс-формы 4 и 5.

При работе двухпозиционной автоматической литейной машины в приемный бункер 1, а из него мерными порциями в рабочий цилиндр 2 поступают гранулы полистирола для вспенивания (желательно марки ПСВ-ЛД). На входе рабочего цилиндра температура в нем находится в пределах 100—130 °С и постепенно повышается к выходу до 180—220 °С. Нагретый пенополистирол впрыскивают

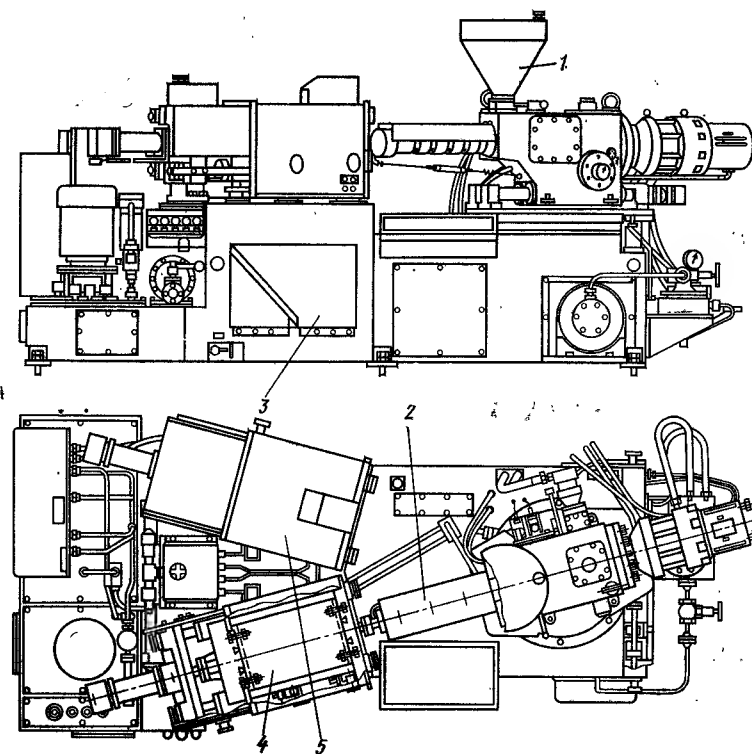


Рис. 5.27. Термопластавтомат мод. 69213 для литья под давлением пенополистироловых моделей

в пресс-форму через литниковый канал и точечные или щелевые питатели со скоростью не менее 120 см³/с. Впрыскиваемый за 0,2—0,5 с материал занимает ~20 % объема пресс-формы, после чего, вспениваясь, полностью воспроизводит его. Сформировавшиеся и отвержденные в результате охлаждения модели выталкивают из пресс-форм и они попадают в бункер 3.

Таким образом, изготовление пенополистироловых моделей литьевым методом состоит из четырех стадий: пластификации гранул полистирола, впрыска его в пресс-форму, вспенивания и охлаждения модели в пресс-форме. Преимущества и свойства пенополистироловых моделей подробно рассмотрены выше в этой главе, а конструктивные особенности пресс-форм для изготовления пенополистироловых моделей указаны в гл. 4. Сконструирован восьмипозиционный карусельный автомат для получения звеньев пенополистироловых моделей, совмещенный с роторной установкой для автоматической сборки блоков моделей (см. рис. 10.12). Автоматы входят в состав комплекса оборудования для линии производства по выжигаемым пенополистироловым моделям мелких точных стальных отливок, рассчитанной на выпуск 1000—1500 т/год.

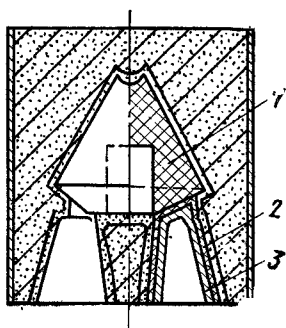


Рис. 5.28. Форма с выпадающей металлической моделью прибыли:

1 — модель отливки из легкоплавкого модельного состава; 2 — слой модельного состава на металлической модели прибыли; 3 — выпадающая металлическая модель

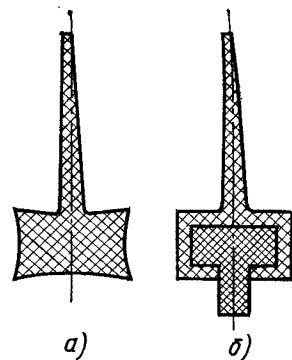


Рис. 5.29. Устранение неравномерной усадки массивного хвостовика модели турбинной лопатки вставками:

а — модель без вставок; б — модель со вставкой

Специальные методы изготовления моделей. Находят применение металлические так называемые выпадающие модели или части моделей, на которые наносят слой модельного состава наращиванием или запрессовкой. По первому способу металлическую модель последовательно 2—5 раз погружают на несколько секунд в расплавленный модельный состав, после чего на поверхности модели наращивается легкоплавкий слой толщиной 1,5—3 мм. Такой способ не может обеспечить точность конфигурации и размеров отливки, и поэтому используют его обычно при изготовлении моделей литниковых систем в опытном и мелкосерийном производстве.

По второму способу металлическую модель, как стержень, устанавливают в пресс-форму и зазор между поверхностью модели и поверхностью полости пресс-формы заполняют модельным составом. Таким способом можно получить точную модель или часть ее с металлической основой и тонким выплавляемым слоем (рис. 5.28).

Для предупреждения неточностей размеров и формы в массивных частях моделей могут быть применены вставки из модельного состава; их изготавливают заранее и проставляют в пресс-форму перед запрессовкой модели (рис. 5.29). На рис. 5.29, а показан характер искажения профиля массивного хвостовика лопатки в результате усадки.

Модели с искривленными отверстиями, а также со сложными по форме и расширяющимися внутри полостями обычным путем получить невозможно. В таких случаях применяют один из четырех способов: изготавливают модели из нескольких отдельных частей, которые затем спаивают или склеивают; используют растворимые стержни; получают отверстия с помощью гибких резиновых стержней; применяют керамические стержни.

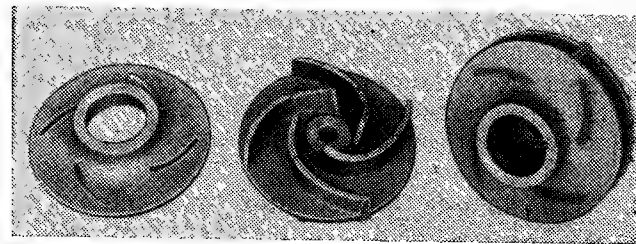


Рис. 5.30. Части сборной модели рабочего колеса насоса и готовая модель

На рис. 5.30 изображены изготовленные в отдельных пресс-формах части модели рабочего колеса насоса и готовая спаянная из этих частей модель.

Растворимые в воде стержни изготавливают обычно из карбамида свободной заливкой расплава в металлическую форму и затем представляют в пресс-форму, фиксируя с помощью знаков. После запрессовывания модельного состава модели с находящимися в них карбамидными стержнями погружают в воду (при 20—25 °С), где стержни растворяются в течение 30—50 мин. Продолжительность растворения стержней может быть значительно сокращена при изготовлении их полими. При использовании карбамидных стержней следует учитывать их повышенную хрупкость и гигроскопичность.

Стержневой ящик с отлитым в нем карбамидным стержнем и блок моделей детали «носок», изготовленных с применением карбамидных стержней показаны на рис. 5.31 и 5.32.

Для выполнения криволинейных сквозных отверстий в моделях могут быть применены упругие резиновые стержни. Используют также керамические стержни из огнеупорных материалов, которые

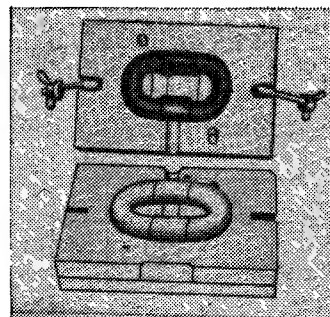


Рис. 5.31. Двухместный стержневой ящик с отлитым в нем карбамидным стержнем

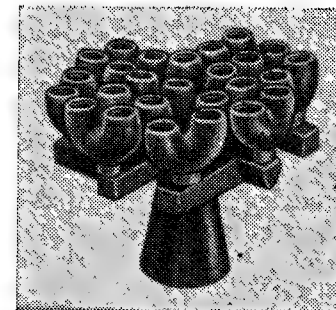


Рис. 5.32. Блок моделей деталей «носок», изготовленных с применением карбамидных стержней

устанавливают в пресс-форму перед заполнением ее модельным составом, и они оказываются внутри модели за исключением знаков. Способы изготовления керамических стержней описаны в гл. 6.

Модели литниковых систем в условиях опытного и мелкосерийного производства систем часто получают методом свободной заливки расплава модельного состава в пресс-формы, а в условиях массового производства используют металлические стояки-каркасы (см. п. 5.8).

5.7. ОХЛАЖДЕНИЕ И ХРАНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

Готовые модели после извлечения их из пресс-форм и предварительного визуального контроля охлаждают. Искусственное охлаждение в проточной воде или обдувкой воздухом не всегда приемлемо, так как у крупных моделей сложной формы, представляющих собой сочетание массивных и тонкостенных частей, оно может привести к значительному короблению и образованию трещин.

Охлаждение моделей до температуры окружающей среды длительно из-за низкой теплопроводности большинства модельных составов и сопровождается изменением размеров вследствие усадки, продолжающейся до полного охлаждения. Продолжительность полного естественного охлаждения моделей до температуры 20 °С составляет от 30—60 мин (для тонкостенных моделей) до 4—5 ч. На рис. 5.33 приведен график охлаждения и усадки образца длиной 300 мм поперечным сечением 15 × 15 мм, отлитого из парафиново-стеаринового модельного состава. Охлаждение образца и его усадка продолжались в течение почти 2 ч. Такое же время потребовалось и для завершения усадки в тонкостенной модели «движок» (рис. 5.34) со стенками толщиной 4—5 мм. Модели, изготовленные из пастообразного состава, отличающегося низкой теплопроводностью вследствие присутствия в нем воздушных включений, охлаждаются медленнее, чем отлитые из жидкого состава.

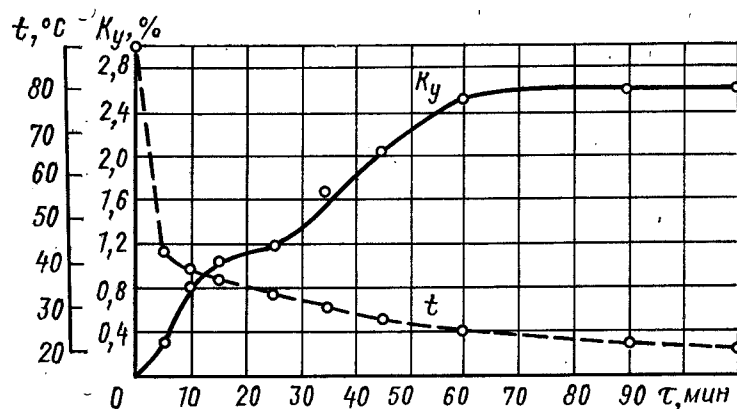


Рис. 5.33. Охлаждение и усадка K_u литого образца из модельного состава ПС 50-50

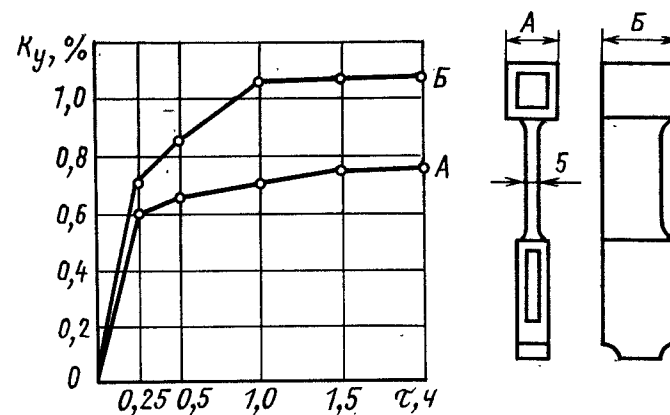


Рис. 5.34. Линейная усадка различных частей модели детали «движок» при естественном охлаждении на воздухе

На графике видно значительное различие в абсолютных значениях усадки по размерам A и B, так как по размеру A усадка затруднена, а по размеру B протекает свободно.

Модели с толщиной стенок до 5 мм после их изготовления необходимо охлаждать на воздухе в течение 1—5 ч, а массивные модели из составов с низкой теплопроводностью даже более 5 ч. Например, при изготовлении лопаток паровых турбин (масса отливки 6,5 кг) на Свердловском турбомоторном заводе литые модели из парафиново-стеаринового сплава выдерживали на воздухе 6—8 ч. Недостаточная выдержка приводит к тому, что на сборку блоков попадают модели с незакончившейся усадкой. При нанесении оболочки на такие модели происходит их коробление, следствием чего является отслаивание, а также растрескивание оболочки.

В целях предупреждения коробления сложных по форме моделей, не имеющих опорной плоскости, следует применять специальные опоры или подставки.

В летнее время, когда температура в производственных помещениях, не оснащенных установками для искусственного охлаждения воздуха, значительно повышается, появляется опасность массовой порчи моделей из легкоплавких смесей вследствие деформации. Для предотвращения этого модели хранят в термостатах или специальных охлаждаемых проточной водой металлических шкафах. Следует учитывать, что если последующие операции с моделями (сборка в блоки, нанесение и сушка оболочки) выполнять при более высокой температуре, модели будут термически расширяться. Поэтому перед использованием их следует от 30 мин до 1 ч выдерживать при температуре помещения.

Модели мелких отливок можно хранить в проточной водопроводной воде. Часто при этом создается «водяной конвейер» — резервуар для воды, проведенный от места разборки пресс-форм до места сборки

модельных блоков. Воду подводят со стороны поступления моделей. Создают перемещение моделей, плавающих на поверхности воды. Скорость этого перемещения легко регулируют изменением скорости течения воды. При охлаждении моделей в проточной воде возможно омыление стеарина с образованием характерного белого налета, что объясняется содержанием в воде растворов щелочей, которые можно нейтрализовать, подкислив воду соляной кислотой.

Водопроводная вода в зимнее время имеет температуру не выше 8—12° С, что приводит к значительному переохлаждению моделей. Поэтому модели, охлажденные в холодной проточной воде, следует выдерживать на воздухе перед сборкой и особенно перед нанесением оболочки, выравнивая температуру моделей с температурой помещения. Перед сборкой в блоки модели следует обдуть сжатым воздухом для удаления с их поверхности воды.

Отделка моделей и подготовка к сборке в блоки состоит в зачистке заусенцев (облоя, швов) и посадочной части питателей, а также в обдувке сжатым воздухом либо протирании ватой, марлей, мягкой материей для удаления с поверхности прилипших частиц модельного состава, следов смазочного материала пресс-формы и влаги.

На некоторых заводах для лучшей очистки поверхности моделей и обеспечения хорошего смачивания облицовочной суспензией модели протирают ацетоном или спиртом, а также промывают в водном растворе нейтрального мыла. Подготовку моделей к сборке целесообразно совмещать с контролем их качества. Зачищать модели и контролировать их качество следует только после выдержки их до полного охлаждения.

Выявления дефектов моделей внешним осмотром не всегда бывает достаточно. Незначительные деформации моделей и размерные неточности, не заметные на глаз, обнаруживают с помощью контрольно-измерительных инструментов и приспособлений, например профильных накладных шаблонов, скоб, калибров, линейек.

В технических условиях на модели должны быть указаны требования к точности и качеству их поверхности, оговорены допустимые дефекты, а также указано, какие дефекты разрешается исправлять и в каких местах последние вовсе не допускаются. В условиях поточно-массового производства мелких отливок практически невозможно применение 100 %-ного контроля моделей. Здесь целесообразно организовать контроль технологического процесса, оборудования и технологической оснастки. Стабильность технологического процесса и работы оборудования, высокое качество оснастки обеспечат постоянство качества моделей и позволят свести до минимума число дефектных отливок.

5.8. СБОРКА МОДЕЛЕЙ В БЛОКИ

Применяют следующие способы сборки моделей в блоки: припаивание моделей деталей к модели литниковой системы с помощью подогретого ножа, шпателя или специального электропаяльника;

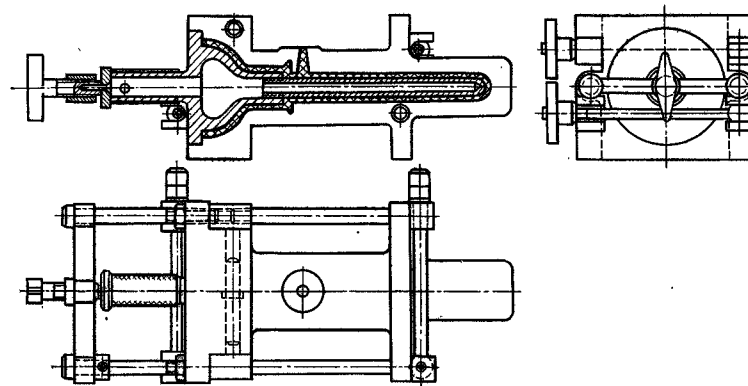


Рис. 5.35. Нанесение слоя модельного состава на металлический стояк-каркас запрессовкой в специальной пресс-форме

соединение моделей в кондукторе с одновременной отливкой моделей литниковой системы или пайкой жидким модельным составом моделей отливок и литниковой системы; механическое скрепление моделей отливок с моделью литниковой системы; приклеивание моделей отливок к модели литниковой системы.

Сборка припайванием. Нагретое лезвие ножа или электрического паяльника помещают между посадочной частью питателя модели и моделью литниковой системы в месте, где модель должна быть припаяна. Затем одной стороной плоской части лезвия касаются одновременно питателя модели, а другой — посадочного места модели литниковой системы, оплавляя их, после чего нож быстро убирают и соединяемые части слегка прижимают одну к другой.

Можно использовать стандартные электропаяльники ЭТ-П (ГОСТ 7219—77), которые могут нагреваться до температуры 240 °С и выше. Наконечнику паяльника из красной меди придают форму лезвия ножа.

Для сборки мелких моделей в блоки в отечественной промышленности часто применяют полые металлические стояки, на которые наращивают слой модельного состава толщиной 2—5 мм. Состав наносят многократным погружением стояков в расплав модельного состава (4—5 раз) с охлаждением после каждого погружения в течение 8—10 мин, либо в пресс-форме (рис. 5.35).

При сборке блоков припайванием моделей стояк закрепляют обычно в горизонтальном положении. Использование металлических стояков позволяет повысить прочность модельных блоков, упростить процесс изготовления моделей литниковой системы, сократить расход модельного состава и облегчить выплавление его из форм, обеспечить удобство транспортирования, хранения и просушивания блоков при изготовлении оболочки. Блоки моделей, собранные припайванием, показаны на рис. 5.36. Для подвода металла сифоном

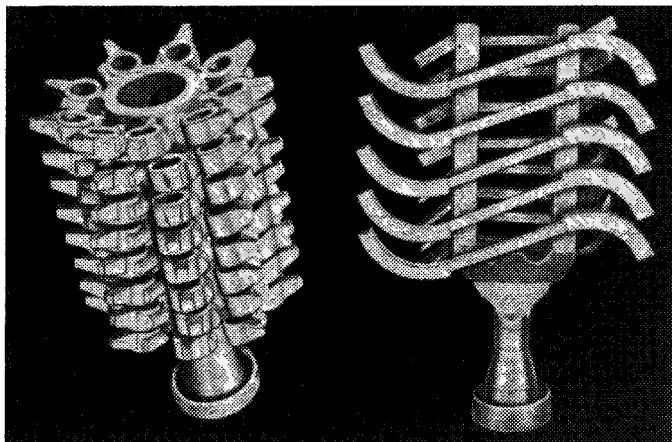


Рис. 5.36. Блоки моделей, собранные припайванием

к металлическому стояку припаивают коллекторы из модельного состава, изготавливаемые в пресс-форме.

При припайвании моделей необходимо зачищать место спая, выполняя плавные переходы от питателя на модели к сопрягаемому с ним элементу литниковой системы.

Сборка в кондукторе. Сборка моделей в кондукторе позволяет устранить припайвание вручную, обеспечить прочное соединение моделей детали и литниковой системы, точно выдержать заданное положение моделей на литниковой системе. Однако высокая стоимость изготовления кондукторов ограничивает их применение. Сборочные кондукторы следует применять для соединения в блок моделей из плохо спаивающихся модельных составов, например типа КБНк 90—10. Сборочные кондукторы часто выполняют так, чтобы можно было совместить операцию соединения моделей в блок с отливкой модели литниковой системы (рис. 5.37).

Сборка механическим скреплением. В НИИТАвтопроме разработан высокопроизводительный метод сборки моделей в блоки на металлический стояк-каркас с механическим зажимом (рис. 5.38). Стояк-каркас предназначен для сборки моделей звеньями (рис. 5.39, а), изготовленными в многоместных пресс-формах, с частью модели стояка (втулкой). На рис. 5.39, б изображена конструкция этой части с замком (на торцевой части по диаметру 32 мм), исключающим относительное перемещение звеньев, собранных в блок. К преимуществам звеньевой сборки на стояк-каркас по сравнению с припайванием относятся в 10—20 раз большая производительность и обеспечение полной повторяемости конструкции блока, разработанной технологом. Исключается возможность смещения моделей, наблюдаемого при некачественной сборке припайванием, искажения размера питателя в результате излишнего его

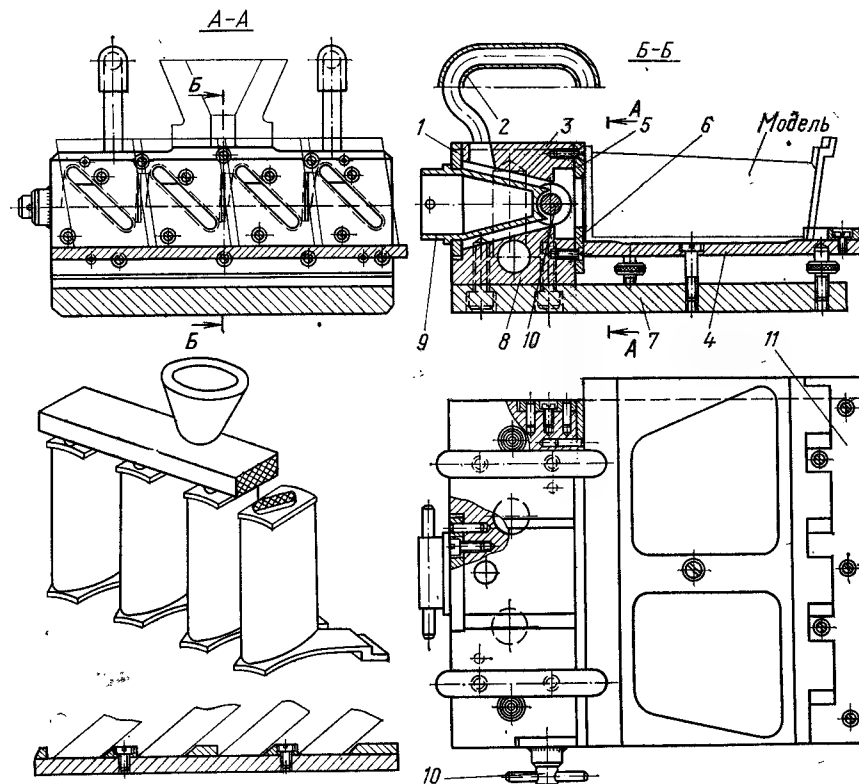


Рис. 5.37. Кондуктор для сборки четырех моделей в блок спайванием, с одновременной заливкой модельных элементов литниково-питающей системы:

1 — заглушка; 2 — ручка; 3 — крышка; 4 — плита; 5 — верхняя планка; 6 — нижняя планка; 7 — плита; 8 — корпус; 9, 10 — стержни для образования полостей в моделях литниковой воронки и коллектора; 11 — шаблон для установки моделей деталей

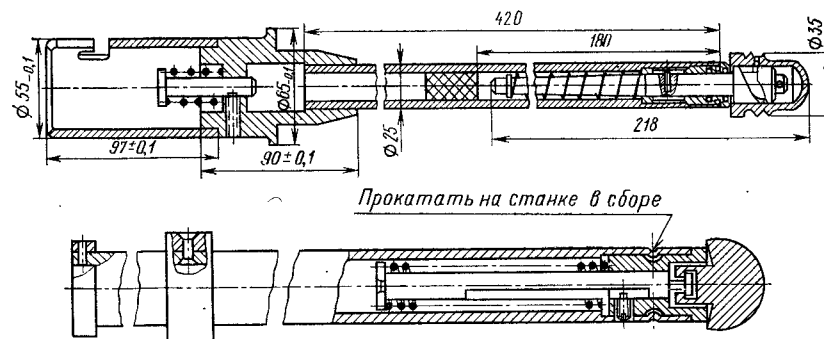


Рис. 5.38. Конструктивные разновидности металлических стояков-каркасов для звеньевой сборки моделей в блоки без припайвания

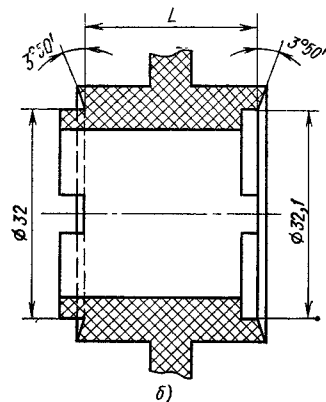
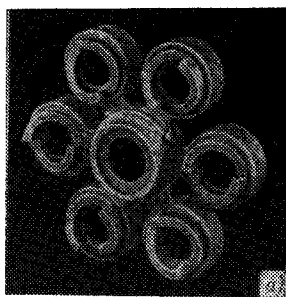


Рис. 5.39. Звено моделей, изготовленное в многоместной пресс-форме (а) и конструктивный вариант втулки модельного звена (б), исключающий сдвиг звеньев относительно друг друга; L — высота втулки, выбираемая с учетом длины рабочей части стояка, размеров моделей и числа звеньев, собираемых в блок

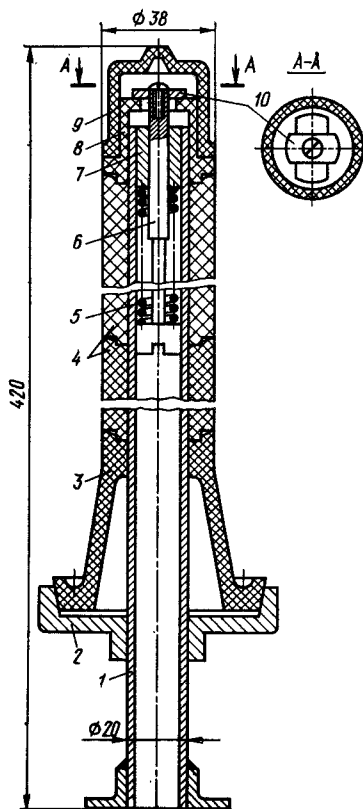


Рис. 5.40. Универсальный стояк для сборки моделей в блок припайванием с набором конструктивных элементов, образующих модель литниковой системы:

1 — трубчатый корпус; 2 — опора чаши; 3 — модель чаши; 4 — втулки из модельного состава, образующие модель стояка; 5 — пружина прижимного устройства; 6 — стержень зажимного устройства; 7 — пробка; 8 — переходная втулка из модельного состава; 9 — колпачок из модельного состава; 10 — прижимная пластина

оплавления, непрочного присоединения моделей, образования вследствие неполного пропайвания зазора между питателем и соединяемым с ним элементом литниковой системы. Последний недостаток может быть причиной не только отламывания моделей на последующих операциях, но и брака по засорам вследствие проникновения в зазор суспензии и образования керамических гребешков в форме на пути потока металла при заливке, а также усадочных дефектов в отливке из-за местного сужения сечения питателя.

Метод сборки на стояк-каркас с прижимным устройством с успехом применяется в цехах крупносерийного и массового производства отливок, на автоматических линиях, причем конструкции используемых стояков-каркасов весьма разнообразны. На рис. 5.38 показаны стояки-каркасы двух разновидностей. Модели литниковых воронок и колпачков, оформляющих конец стояка (металлоприемник) изготавливают в отдельной пресс-форме. Изображенный на рис. 5.40 стояк является универсальным, так как перемещением опоры 2 можно регулировать длину его рабочей части.

В тех случаях, когда для изготовления моделей используют материал, не поддающийся припайванию, например полистирол, применяют следующий метод механического скрепления моделей. В модели литниковой системы делают паз, а на модели детали — шип в виде ласточкина хвоста или другой формы; шип на модели детали должен плотно входить в паз модели литниковой системы, чем и обеспечивается необходимая прочность соединения частей блока.

Сборка склеиванием моделей. При использовании модельных составов, не поддающихся припайванию, применяют и приклеивание моделей. Для этого могут быть использованы клеящие вещества и растворители модельных составов. В настоящее время этот способ применяют редко.

Охлаждение и хранение блоков. После сборки моделей методом спаивания, особенно при одновременной отливке элементов литниковой системы (в кондукторе), необходима выдержка для полного охлаждения всех частей модельного блока до температуры производственного помещения.

Для естественного охлаждения и хранения блоков перед нанесением оболочки их устанавливают или подвешивают на стеллажи, этажерки, подвесные конвейеры-накопители, ставят в шкафы или термостаты. Устройства для хранения модельных блоков изготавливают и устанавливают так, чтобы исключалась опасность поломки моделей и загрязнения их поверхности. Недопустимо колебание температуры.

Наиболее благоприятные условия для открытого хранения моделей и блоков создаются в цехах с изолированными от смежных участков модельными отделениями, снабженными установками для кондиционирования воздуха.

В условиях массового поточного производства целесообразно применять специальные конвейеры для охлаждения модельных блоков и передачи их на участок изготовления оболочек.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

6.1. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И ЗАТВЕРДЕВАНИЯ В НИХ ОТЛИВОК

Литейная форма — инструмент для обработки расплава металла в целях получения отливок с заданными размерами, шероховатостью поверхности, структурой и свойствами. Основа способа литья по выплавляемым моделям — оболочка: неразъемная, горячая, не-газотворная, газопроницаемая, жесткая, с гладкой контактной поверхностью, точная.

Известны два типа оболочек в зависимости от способа их изготовления: многослойные, получаемые нанесением суспензии с последующей обсыпкой и сушкой, и двухслойные, получаемые электрофоретическим способом.

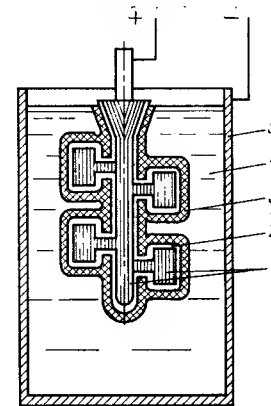
Многослойная оболочка. Поверхность блока моделей смачивают суспензией окунанием и тут же обсыпают зернистым материалом. Суспензия прилипает к его поверхности и точно воспроизводит конфигурацию; зернистый же материал внедряется в слой суспензии, смачивается ею, фиксирует суспензию на поверхности блока, создает скелет оболочки и утолщает ее.

Свеженанесенный слой оболочки практически не обладает прочностью и удерживается на поверхности блока только благодаря действию сил смачивания; упрочнение его происходит в процессе сушки — химического твердения. Оболочку формируют последовательно: смачивают блок суспензией, обсыпают и сушат. Обычно наносят четыре — шесть слоев, а при изготовлении крупных отливок до 12 и более. Первый облицовочный слой обсыпают мелкозернистым (0,1—0,16 мм) материалом, чтобы получить гладкую контактную поверхность.

Двухслойная оболочка. Первый облицовочный слой получают так же, как при многослойных оболочках, а перед нанесением второго слоя — форетического — первый обязательно смачивают суспензией, содержащей электролит (проводник 2-го рода, например, соляную кислоту) совместно со связующим (например, кальций-алюмохромфосфатом), и обсыпают зернистым материалом. Первый слой — токопроводный, а второй осаждают на первый в электролизере из форетической грубодисперсной суспензии (рис. 6.1) и обсыпают зернистым материалом. После наращивания второго слоя оболочку сушат. Если необходима оболочка с толщиной стенок большей, чем 6—8 мм, после сушки первых двух слоев на блок наносят следующие два слоя. Такие оболочковые формы называют двухциклическими [42, 76].

Рис. 6.1. Схема электрофоретического способа изготовления двухслойных оболочек:

1 — блок моделей; 2 — облицовочный и токопроводный слой со связующим раствором; 3 — форетический слой; 4 — форетическая суспензия; 5 — водоохлаждаемый гидролизер из коррозионно-стойкой стали



Модели при обоих способах удаляют без нарушения целостности оболочек, что обеспечивает повышенную геометрическую точность отливок.

Процесс изготовления оболочек заканчивают прокаливанием их при 800—1100 °С для удаления газотворных составляющих и лучшего заполнения расплавом.

Особенности затвердевания отливок.

Обычно расплав заливают в горячие оболочковые формы. Это обуславливает хорошую заполняемость тонких сечений отливок сложной конфигурации, высокую их плотность.

Оценить влияние температуры формы на продолжительность затвердевания отливки или ее части и рассчитать эту продолжительность с достаточной точностью можно [6, 108] по формуле

$$\tau_s = \left[\sqrt{\pi} R_s \rho_1 L_1 / [2b_\phi (t_{кр} - t_{н.ф})] \right]^2 y_k, \quad (6.1)$$

где R_s — эффективная приведенная толщина части отливки, м, в общем виде $R_s = V/S_\phi$ [V — объем части отливки, м³; S_ϕ — площадь поверхности отливки, через которую она (или ее часть) отдает теплоту форме, м²]; ρ_1 — плотность расплава вблизи $t_{л}$, кг/м³; L_1 — теплота кристаллизации сплава, Дж/кг; b_ϕ — коэффициент аккумуляции теплоты оболочки, Вт·с^{1/2}/(м·°С); $t_{кр}$ — температура кристаллизации сплава, °С, $t_{кр} = (t_{л} + t_{сол})/2$ ($t_{л}$ и $t_{сол}$ — температуры ликвидуса и солидуса сплава соответственно, °С); $t_{н.ф}$ — температура оболочки в начале заливки, °С; y_k — безразмерный коэффициент, характеризующий конфигурацию той части отливки, для которой рассчитывают τ_s , например, можно принимать для части отливки типа плиты $y_k = 1$; если часть отливки можно считать брусом или цилиндром, $y_k = 0,6$; если часть отливки по форме близка к шару, $y_k = 0,4$.

Продолжительность τ_s — важнейший параметр процесса формирования структуры сплава и внутренних пороков в отливках. Как следует из формулы (6.1), τ_s тем больше, чем меньше разность температур во второй степени между $t_{кр}$ и $t_{н.ф}$. При этом на поверхности отливки не всегда образуется твердая корка, и сплав какое-то время проходит через стадии жидко-твердого и твердо-жидкого состояний; укрупняются зерна его, а при объемном затвердевании может образоваться рассредоточенная усадочная пористость. Однако при медленном затвердевании одновременно создаются условия, благоприятствующие процессу фильтрации жидкого сплава из ЛПС в отливку и получению плотного металла в ней с повышенными прочностью и особенно пластичностью. При замедленном затверде-

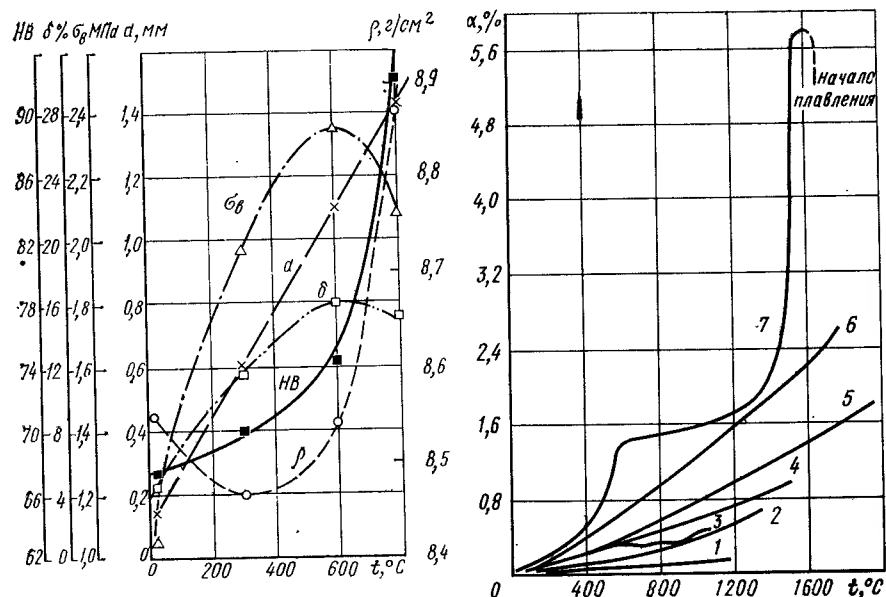


Рис. 6.2. Влияние температуры формы на свойства бронзы ОЦС5-5-5:

a — средний размер зерна; ρ — плотность; δ — временное сопротивление при растяжении; HV — твердость по Бринеллю; δ — относительное удлинение

Рис. 6.3. Линейное расширение α основы оболочки:

1 — непрозрачное кварцевое стекло (плавленый кварц) (SiO_2); 2 — циркон ($ZrO_2 \times SiO_2$); 3 — шамот ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$); 4 — силманит ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$); 5 — электрокорунд (αAl_2O_3); 6 — магнезит (MgO); 7 — кварц кристаллический (SiO_2)

вании увеличивается продолжительность проникновения расплава в образующиеся межкристаллитные усадочные пустоты, т. е. улучшается питание отливок; растворенные в сплаве газы успевают выделиться и удалиться из отливки.

На рис. 6.2 приведены опытные данные для бронзы БрОЦС 5—5—5. Аналогично улучшаются свойства сталей типа коррозионно-стойких и углеродистых (см. гл. 8).

Для того, чтобы оболочка, нагретая до 900—1000 °С, аккумулировала теплоту перегрева и кристаллизации, например стали, толщина ее должна быть близка к толщине отливки или больше. Это всегда следует учитывать при расположении отливок в блоке.

В горячих формах вследствие благоприятных условий фильтрации при обязательном обеспечении направленного затвердевания в сторону питающих элементов (стояка, коллектора, прибыли) и достаточного запаса расплава в них к концу полного затвердевания теплового узла получают плотные, без усадочных пороков, отливки.

При повышении температуры формы увеличивается радиус (дистанция) действия прибыли. Замедленное остывание в горячей форме затвердевшей отливки способствует уменьшению температурного перепада в толстых и тонких частях ее, вследствие чего снижаются

температурные напряжения и вероятность образования трещин. Однако расплав и его окислы могут проникать в поры оболочки, образуя механический и химический пригар. Поверхность отливки окисляется, а поверхностный слой, например стали, обезуглероживается на глубину до 1 мм. На отливках из высокохромистых сталей наблюдаются поверхностные пороки в виде пятен или точек (питтинги), углубляющихся в тело отливки до 0,6 мм. При заливке в горячую форму требуется особый подход к выбору состава оболочки в зависимости от природы сплава.

Таким образом, нагревом и охлаждением оболочки перед заливкой расплава можно регулировать ход процесса кристаллизации, а выбором формовочных материалов обеспечивать получение качественной поверхности отливок из любых сплавов.

6.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

В основу классификации положены линейное расширение образца оболочки при нагреве, конструкция формы, ее химические свойства.

Линейное расширение оболочки. Оболочка состоит из 95—97 % основы (часто называемой наполнителем) и связующего, которое в виде тончайших пленок цементирует зерна основы. Линейное расширение оболочки определяет главным образом основа (рис. 6.3).

Конструкция оболочковых форм. Тепловое расширение основы и масса отливок определяют конструкцию оболочковых форм и, следовательно, условия прокаливания их и заливки (табл. 6.1, рис. 6.4).

Таблица 6.1

Классификации оболочковых форм

Форма, линейное расширение (20—1000 °С)	Порошок, его формула	Конструкция (см. рис. 6.4)	Свойства окислов
Истинно оболочковая Очень малое (~0,04 %)	Аморфный кварц, SiO_2	I	Кислотные
Оболочковая Малое (~0,4 %)	Электрокорунд γAl_2O_3	II	Амфотерные
	Шамот высокоглиноземистый		
Оболочковая с сыпучим наполнителем Большое (~1,1 %)	Магнезит, MgO	III	Основные
	Кристаллический кварц, SiO_2		Кислотные
Оболочковая с прочным наполнителем Очень большое (~1,4 %)	Кристаллический кварц, SiO_2	IV	Кислотные

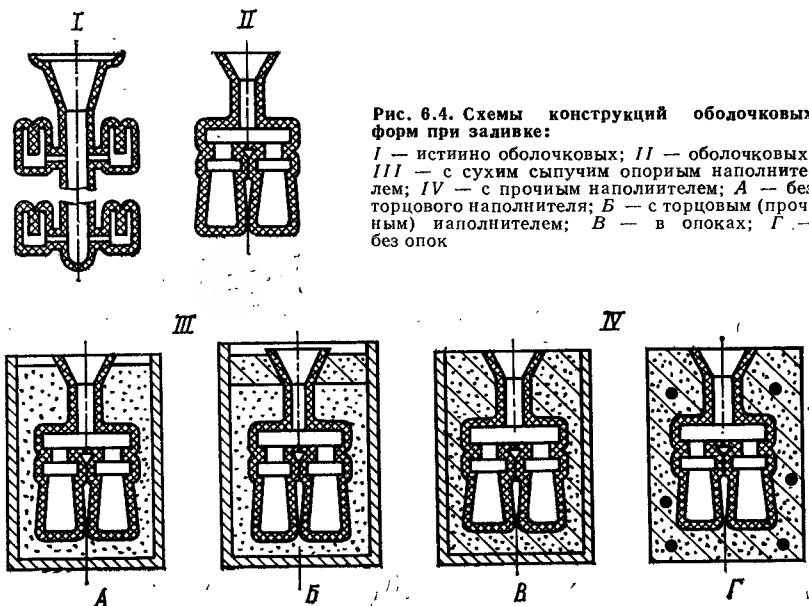


Рис. 6.4. Схемы конструкций оболочковых форм при заливке:

I — истинно оболочковых; II — оболочковых; III — с сухим сыпучим опорным наполнителем; IV — с прочным наполнителем; А — без торцового наполнителя; Б — с торцовым (прочным) наполнителем; В — в опоках; Г — без опок

Конструкция I — оболочки прокаливают любым способом с любой возможно большей скоростью нагрева; заливают расплав в горячие или охлажденные оболочки; трещины в них не образуются; такие формы называют истинно оболочковыми.

Конструкция II — оболочки прокаливают 2—3 ч, постепенно их нагревая, заливают расплав только в горячие оболочки. При быстром прокаливании или заливке охлажденных оболочек в них образуются трещины.

Конструкция III — оболочковые формы, не выдерживающие резкого изменения температуры, вследствие чего их заформовывают в сыпучий опорный наполнитель (см. рис. 6.4, А и Б). Роль наполнителя — фиксирование в пространстве положения оболочки, предохранение ее от быстрого нагрева и охлаждения и разрушения при заливке. Возможны три способа изготовления форм с сыпучим наполнителем: из оболочки выплавляют модель; затем ее заформовывают в опоку и прокаливают (рис. 6.4, III А); оболочку после выплавления модели прокаливают и перед заливкой заформовывают горячим наполнителем; в опоку заформовывают оболочку вместе с заключенной в ней моделью, выплавляют модель в положении, перевернутом на 180°, и затем форму прокаливают. При всех способах наполнитель используют многократно.

Формы с сыпучим наполнителем следует заменять истинно оболочковыми, чтобы при прокаливании до 900—1000 °С исключить нагрев опорного наполнителя, масса которого в 8—16 раз больше массы оболочки.

Конструкция IV — оболочковые формы с прочным наполнителем (6.4, В и Г). Форма не выдерживает резкого изменения температуры и не обладает достаточной прочностью, поэтому пространство между оболочкой и опокой заполняют жароупорным бетоном, который приобретает прочность после его твердения, сушки и прокаливания формы. Такие формы следует применять при получении крупногабаритных отливок (более 0,5 м).

Химические свойства. В зависимости от используемого огнеупорного материала основы оболочки (т. е. окисла и соединений окислов), а также связующего, оболочковые формы разделяют на кислые, амфотерные и основные. При заливке сплавов, таких, как марганцовые стали, образующих основные окислы, следует применять оболочки только из основных окислов.

6.3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

Формовочные материалы включают основу, связующее, растворители, добавки. Основа может быть пылевидной для суспензий и зернистой для обсыпки слоев суспензий на блоках моделей.

Основа оболочковых форм. Материалы основы состоят из окислов или их соединений (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Материалы основы оболочки (порошка)

Материал и химическая формула	Физико-химические свойства				Рекомендуемая поверхность пылевидного материала, м ² /кг
	Химические	<i>t</i> _{пл} , °C	ρ, кг/м ³	Коэффициент линейного расширения, 1/°C	
<i>Окислы</i>					
Кварц кристаллический SiO ₂	Кислый	1713	2650	13,7·10 ⁻⁶	400—600
Кварц плавный (аморфный) НКС SiO ₂	»	1713	2200	0,5·10 ⁻⁶	400—600
Электрокорунд белый αAl ₂ O ₃	Амфотерный	2050	3900	8,6·10 ⁻⁶	600—700
Оксид магния (магнезит) MgO	Основной	2400	3870	13,5·10 ⁻⁶	500—600
<i>Соединения окислов</i>					
Дистен-силлиманит Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	Слабо-кислый	1545	3250	—	500—600
Циркон ZrO ₂ ·SiO ₂	То же	1800	4570	5,1·10 ⁻⁶	600—800
Высокоглиноземистый шамот 3Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	Амфотерный	1600	3000	5,3·10 ⁻⁶	—
Муллит 3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	»	1810	—	(4,5÷5,7) 10 ⁻⁶	—

Примечания. 1. Самой низкой стойкостью в вакууме обладает магнезит.
2. Температуры плавления указаны для чистых окислов.
3. Рекомендуемая дисперсность пылевидных материалов < 50 мкм, обсыпочною материала первого слоя 0,1—0,16 мм и последующих слоев 0,315—1,0 мм.
4. Для дистен-силлиманита и муллита указаны температуры диссоциации на Al_2O_3 и вязкую эвтектическую жидкость (SiO_2).

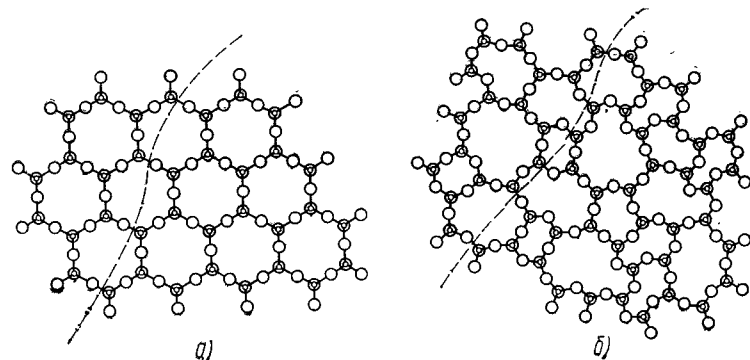
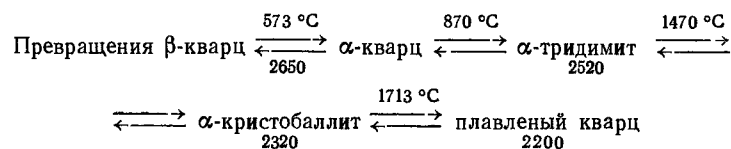


Рис. 6.5. Схемы кремнекислородных тетраэдров в кварце: а — кристаллическом; б — аморфном (плавленом). Штриховыми линиями показаны возможные линии раскола при их измельчении

О к и с л ы. Кварцы SiO_2 используют кристаллической и аморфной модификации. Первый — природный, второй получают искусственно плавлением первого и часто называют плавленым кварцем, или кварцевым стеклом. Отличаются они строением (рис. 6.5) и термическим расширением.

Кварц кристаллический добывают в карьерах в виде кварцевых песков — формовочных и более чистых — стекольных. При нагреве и нормальном давлении он претерпевает четыре полиморфных превращения с изменением плотности (от 2650 до 2200 кг/м^3):



Наиболее существенно быстропротекающее превращение при 573°C , когда при нагреве увеличивается линейный размер на 1,4 %. Это одна из причин образования трещин в оболочках и засоров в отливках.

Превращения при 870°C происходят крайне медленно и для практики литья значения не имеют. При заливке сталей и сплавов с высокой температурой плавления контактный слой оболочки нагревается до 1500°C и выше, что приводит к кристобаллитизации кварца с увеличением размеров. Этим объясняется низкая термостойкость кварцевых оболочек.

Кварц кристаллический молотый пылевидный получают помолом чистого кварцевого песка. Предусмотрено две марки молотого пылевидного кварца (МПК) (табл. 6.3).

Кварц марки А рекомендуют для облицовочного (контактного) слоя оболочки, а марки Б — для последующих слоев с этилсиликатным связующим.

Таблица 6.3

Состав кристаллического молотого пылевидного кварца марок А и Б, % по массе

Показатель	А	Б
Химический состав:		
SiO_2 , не менее	98	
Fe металлическое, не более	0,06	0,25
Fe_2O_3 , не более	0,05	0,15
Al_2O_3 , не более	0,5	1,0
TiO_2 , не более	—	0,03
CaO, не более	—	0,15
Потери при прокаливании	0,1—0,15	0,1—0,2
Содержание влаги, не более	2	
Зерновой состав по остатку на сите, не более:		
№ 016	1,0	
№ 010	2,5	
№ 0063	10,0	
Через сито № 005 должно пройти, не менее	85	82

Примечание. Реакция водной вытяжки нейтральная.

Маршалит — природный пылевидный кристаллический кварц, встречающийся крайне редко, содержит 96—98% SiO_2 , неоднороден по химическому и зерновому составу; его применять не следует.

Кварцевый песок применяют для обсыпки облицовочного (контактного) слоя марки 1К016, 1К020, а для последующих — более крупные, например 1К0315.

Кварц аморфный — кварцевое стекло [114]. Как показано выше, при рассмотрении полиморфных превращений при 1713°C кристобаллит переходит в вязкое кварцевое стекло, называемое также плавленым кварцем. В отличие от кристаллического плавленый кварц представляет собой затвердевшую переохлажденную жидкость с неупорядоченным строением. Его называют аморфным (см. рис. 6.5).

Известны два вида кварцевого стекла: прозрачное и непрозрачное (НКС). Первое выплавляют из чистейшего кристаллического кварца и применяют для оптических приборов. Второе выплавляют из обычного стекольного или отмытого кварцевого песка. Непрозрачным оно получается потому, что содержит мельчайшие пузырьки воздуха (0,003—0,3 мм), не успевшие выйти из вязкого расплава. После расплавления песка и охлаждения бруса последний дробят, размалывают, просеивают, получают порошки НКС, которые обладают ничтожно низким коэффициентом термического расширения и высокой термостойкостью, в этом их преимущество перед другими окислами [65]. Как и все аморфные вещества НКС при нагреве до температуры выше 1200°C кристаллизуется с уменьшением объема — это его второе преимущество перед порошками окислов оболочковых форм, так как вследствие частичной кристаллизации

Порошки НКС

Таблица 6.4

Обозначение	Фракция порошка		Обозначение	Фракция порошка	
	Зерни- стость, мм	Номер сита, ограничива- ющего фракцию		Зерни- стость, мм	Номер сита, ограничива- ющего фракцию
Очень грубый ОГ	1,6	2—1,6	Средний С	0,315	0,5—0,315
Грубый Г	1,0	1,6—1,0	Мелкий М	0,16	0,315—0,16
Крупный К	0,5	1—0,5	Тонкий Т (пылевид- ный)	0,063 и мельче	0,063 — не ограни- чено

только поверхностного слоя оболочка легко отделяется от поверх-
ности стальных отливок.

Полунепрерывный процесс получения бруса НКС и технические
условия (ТУ 21-55-52—80) на порошки разработаны ГОСНИИКС
(г. Ленинград). В табл. 6.4 приведены сведения из этих ТУ.

Согласно ТУ через сито № 0063 должно проходить не менее
98 % по массе пылевидного НКС. Следует отметить, что для полу-
чения качественной поверхности оболочки зерновой состав должен
быть разнородным, а содержание зерен размером 10 мкм и менее
должно быть более 20 %.

Зерновой состав (оптимальный) пылевидного НКС:

Размер зерен, мкм	≥50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—5	≤5
Содержание, % по массе	25	3	20	14	11	17	10

Электрокорунд ($\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$) получают в дуговых печах и подразде-
ляют на нормальный (черный) и белый. Нормальный, получаемый
восстановительной плавкой бокситов, содержит 4—6 % вредных
примесей (табл. 6.5), снижающих его температуру плавления и
химическую стойкость. Белый электрокорунд может содержать
до 6 % алюмината натрия в виде относительно мягких включений.
При дроблении слитков и седиментационном разделении алюминат
натрия оседает в пылевидной фракции.

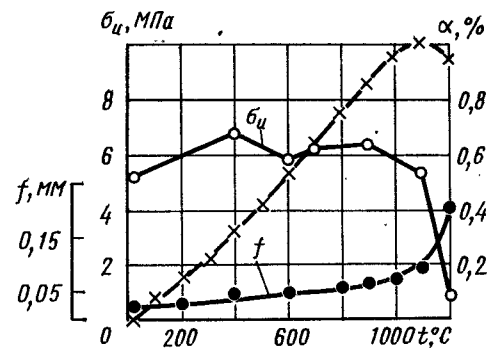
Таблица 6.5

Химический состав электрокорунда, %

Марка электро- корунда	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O
Нормаль- ный ЭН (черный)	93,50— 96,08	0,7—1,68	0,64— 1,68	1,7—2,71	0,58— 0,74	0,10— 0,28	—
Белый ЭБ	99,46	0,07	0,2	—	0,03	—	0,23

Алюминат натрия со связующим SiO_2 из ЭТС при прокаливании
оболочек или заливке в них расплава образуют на поверхности
зерен основы соединения типов $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ (жадеит) с темпе-

Рис. 6.6. Свойства оболочки из белого
электрокорунда, содержащего, % по
массе: 0,88 SiO_2 , 0,15 CaO , 0,14 Fe_2O_3 ,
0,34 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) со связующим гель
 SiO_2 . $\sigma_{\text{д}}$ — предел прочности при изги-
бе, МПа; f — стрела прогиба образ-
ца, мм (расстояние между опорами
60 мм при нагрузке 1,5 кг)



ратурой плавления 1060 °C
и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ (альбит),
плавящегося при темпера-
туре 1100 °C. Это приводит
к размягчению оболочки при
температуре 1060 °C и рез-
кому падению прочности их
при 1200 °C [58] (рис. 6.6).

Электрокорунд химически стоек, не образует питтинга. Так как
расширение при нагреве плавное, оболочка обладает достаточной
термической стойкостью и ее можно заливать в горячем виде без
опорного наполнителя. Для суспензий применяют смеси дорогих
классифицированных порошков белого электрокорунда, например,
смесь из порошков М-5, М-10, М-40 и М-50 в количестве соответ-
ственно 30, 28, 30 и 12 % по массе. Обсыпают первый слой зерни-
стым белым электрокорундом № 20, а последующие слои № 50
или смесью зерен № 40 и 63 в соотношении 1 : 1.

Для получения химически стойкой оболочковой формы жела-
тельно применять в качестве ее основы и связующего один и тот же
огнеупорный окисел. Такое связующее для электрокорунда — окси-
нитрат алюминия. В целях экономии дорогого белого электроко-
рунда можно один или два облицовочных слоя оболочки изготовить
из белого, а последующие из нормального электрокорунда
(см. табл. 6.5).

Нельзя применять глинозем ($\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$) для оболочковых форм
и стержней, так как он вследствие активного химического взаимо-
действия с окислами сплавов образует пригар и питтинг на отлив-
ках. Кроме того, при прокаливании и при заливке форм происходит
необратимое полиморфное превращение $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ с умень-
шением объема, так как плотность первого $\rho_{\gamma} = 3700 \text{ кг/м}^3$, а вто-
рого — $\rho_{\alpha} = 4000 \text{ кг/м}^3$.

Окись магния (MgO) получают обжигом природного магнезита
 MgCO_3 при 1500—1600 °C. CO_2 возгоняется, а куски окиси магния
размалывают до нужной зернистости. Используют MgO для
химически стойкой оболочки при заливке высокомарганцевых
сталей.

Лучшими связующими для магнезитовых форм и стержней яв-
ляются азотнокислый магний и азотнокислый кальций, так как
химическая природа огнеупорной основы и связующего одинакова.
Возможно применение этилсиликатного связующего орг-1 (см. с. 210),
так как оно слабо реагирует с окисью магния, особенно при темпе-
ратурах, близких к нулю. Химическая стойкость таких оболочек

к высокомарганцевым сталям объясняется образованием форстерита ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) на поверхности зерен магнезита.

В вакууме при температурах расплавов на железной или никелевой основах окись магния возгоняется. Это не позволяет применять MgO для форм, заливаемых в вакууме.

Соединения окислов. Наиболее широкое применение получили алюмосиликаты — муллит, высокоглиноземистый шамот, дистен-силлиманит.

Муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, имеющий небольшой коэффициент термического расширения (см. табл. 6.2), устойчив при высоких температурах. В зарубежной практике его широко применяют для форм. Запасы природного муллита ограничены. Однако он образуется в шамоте при обжиге каолина, содержащего в своем составе не менее 36 % окиси алюминия.

Высокоглиноземистый шамот $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, получаемый обжигом каолиновых глин, состоит из двух фаз — муллита и кристобаллита в виде стеклофазы.

В СССР выпускают шамот следующего химического состава, % по массе: не менее 36 Al_2O_3 ; 60 SiO_2 ; 2,0 TiO_2 ; 1,5 Fe_2O_3 ; 0,5 CaO ; 0,4 MgO ; 0,15 K_2O ; 0,15 Na_2O . Огнеупорность — более 1750 °C; влагопоглощение — менее 5 % (ТУ 37.002.0010—80).

Ниже приведен зерновой состав шамота марок 0315 и 063:

Номер сита	2,5—1	0,1—0,2	0,05 — тазик
Остаток на сите, %:			
0315	3	4,5	0,5
063	2	6	0,5

Первый (облицовочный) слой оболочек следует обсыпать зернистым шамотом марки 0315, а последующие слои — шамотом марки 063. Для обсыпки слоя суспензий применяют шамот с кристаллическим кварцем, что увеличивает термостойкость оболочки, так как ее расширение составляет 1,0—1,1 % вместо 1,4—1,5 % при использовании для обсыпки кристаллического кварцевого песка.

Силлиманитовая группа алюмосиликатных соединений включает силлиманит, андалузит и дистен-силлиманит (кианит). Они имеют одинаковую форму $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, но различаются полиморфным состоянием.

Наиболее широко применяют концентрат дистен-силлиманитовый марок КДСЗ (зерновой) и КДСП (пылевидный) с содержанием ≥ 57 % Al_2O_3 ; $< 0,8$ % Fe_2O_3 ; $< 0,2$ % CaO ; $< 0,4$ % MgO и $< 1,5$ % TiO_2 . При 1300—1350 °C в дистен-силлиманите идет реакция образования муллита с выделением SiO_2 и увеличением объема до 15 %. Поэтому перед изготовлением оболочек дистен-силлиманит обжигают при температуре свыше 1000 °C для частичной его муллитизации, чему способствуют примеси щелочноземельных металлов.

Следует обращать внимание на форму зерен КДСП. При получении его струйным помолотом без последующей обкатки в шаровых мельницах резко ухудшается качество поверхности отливок.

В ряде случаев дистен-силлиманит используют вместо пылевидного электрокорунда.

Циркон (силикат циркония) $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$, встречается в ряде стран (например, в Австралии) в виде природных цирконовых песков. В СССР циркон получают как побочный продукт обогащения титаномагнито-магнетитовой руды. Поставляют концентраты цирконовый порошкообразный (КЦП), тонкодисперсный (КЦПТ) и зернистый (КЦЗ), предъявляемые требования к которым приведены в табл. 6.6 (согласно ОСТ 48-82—81).

Таблица 6.6

Требования к цирконовому концентрату

Показатель	Норма для марки		
	КЦП	КЦПЗ	КЦПТ
Содержание, % по массе, не более:			
двуокиси циркония, не менее	65	65	60
окиси железа	0,09	0,1	Не нормируется
двуокиси титана	0,3	0,4	То же
окиси алюминия	1,8	2,0	»
пятиокиси фосфора	0,14	0,14	»
тория и урана	0,1	0,1	0,1
влаги		0,5	
Удельная поверхность, м ² /кг	Не нормируется		500

Примечание. Радиационно-безопасная норма содержания долгоживущих природных элементов в цирконовом концентрате менее 1 нКи/г гарантируется технологией производства.

Регенераты — зернистые материалы, получаемые из отработавших оболочек, их применяют для обсыпки третьего и последующих слоев суспензий. От сухих кусков оболочек отделяют постоянным магнитом металлические (железные) составляющие, далее оболочки измельчают; полученную крошку разделяют по фракциям. Для отсева можно применять барабанное сито (рис. 6.7) [92].

Регенерат оболочек из кристаллического кварца (до 70 %) имеет форму зерен, подобную зернам свежего песка. Целесообразно использовать конгломераты зерен средним размером 0,6—1,6 мм для обсыпки третьего слоя. Последующие слои также обсыпают регенератом, но размеры зерен его, как у свежего песка, или несколько больше. При таком использовании регенерата толщина четырехслойной оболочки увеличивается на 20—40 %, разрушающая нагрузка увеличивается на 15—35 %, хотя $\sigma_{\text{н}}$ образцов немного снижается [92].

Регенераты НКС характерны тем, что природа основы и пленок связующего одинаковы. Используют зерна после отсева измельченной оболочки по двум вариантам: без дополнительной обработки для обсыпки третьего и последующего слоев; после мокрого обогащения для снижения до 0,2 % окиси железа (которая имеется в поверхностном слое оболочки) и отделения остатков пылевидных

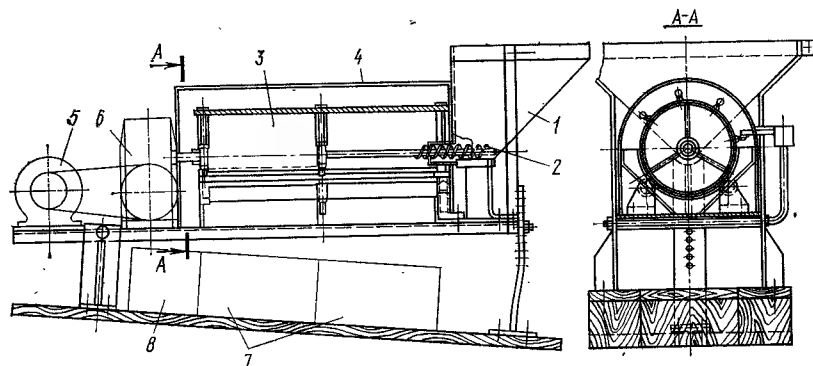


Рис. 6.7. Барабанное сито:

1 — бункер; 2 — шнек; 3 — барабан; 5 — электродвигатель; 6 — редуктор; 7 — ящики для годичного материала; 9 — ящик для отходов

составляющих. Более высокое содержание окиси железа снижает температуру размягчения оболочки [3].

Регенерат электрокорунда получают после растворения пленок двуокиси кремния в водном растворе едкой щелочи. Способ основан на том, что аморфная двуокись кремния связующей пленки растворяется в едкой щелочи с образованием водорастворимых силикатов, а зерна электрокорунда практически не взаимодействуют со щелочью. В щелочи также не растворяется и дистен-силлиманит, который часто применяют как заменитель дорогого пылевидного электрокорунда. После перевода пленок связующего в растворимое жидкое стекло пульпу промывают, нейтрализуют, сушат, классифицируют и зерно используют для обсыпки. Этот способ имеет недостатки: регенерирует только шлиф-зерно, а самые дорогие и дефицитные микропорошки и зерна $< 0,2$ мм удаляют в отвал.

Известен также способ, заключающийся в оттирке пленок с зерен корунда при вибродинамическом воздействии на пульпу, состоящую из трех частей размолотых корундовых оболочек и одной части воды [30]. Оттирка позволяет использовать и микропорошки (> 5 мкм). После активации продукта соляной кислотой его используют с добавками свежего электрокорунда для изготовления оболочковых форм.

Подготовка материалов основы. Подготовка материалов основы включает дробление, помол, промывку, химическую активацию, прокаливание и просеивание.

Помол. Получили применение два способа помола: мелющими телами и без мелющих тел.

Первый способ — помол в шаровых или вибрационных мельницах. Продукт получают окатанной формы, рассредоточенного зернового состава. В вибрационных мельницах материал одновременно и истирают. Производительность вибрационных мельниц в 10—20 раз выше, чем шаровых, а загрязнение материала продуктами износа

шаров меньше. Второй способ — помол в струйных установках. Измельчение происходит при соударении зерен, движущихся навстречу друг другу со сверхзвуковой скоростью; пылевидный материал не загрязняется железом, однако его зерна имеют осколочную форму, что существенно ухудшает рабочую поверхность оболочек.

Пылевидные материалы, полученные первым и вторым способами при одинаковой удельной поверхности совершенно различны по технологическим свойствам. Для получения суспензии одинаковой вязкости в 1 л этилсиликатного связующего можно замешать до 2,5—3,0 кг пылевидного кварца вибропомола, а струйного — в 2 раза меньше. Оболочки из материала струйного помола рыхлые, с низкой прочностью и большой открытой пористостью, поэтому отливки получают с шероховатой поверхностью.

Рационально совместное применение описанных способов помола: предварительный струйный помол до удельной поверхности 300—250 $\text{м}^2/\text{кг}$ с последующим измельчением и обкаткой зерен в вибрационных мельницах до удельной поверхности 400—600 $\text{м}^2/\text{кг}$. Кратковременная обкатка незначительно загрязняет материал, но существенно улучшает форму зерен.

В последнее время предложен принципиально новый способ помола в планетарных мельницах, в которых возможно непрерывное измельчение материалов без мелющих тел.

Пылевидные составляющие суспензий нельзя промывать, так как тонкодисперсные частицы, положительно влияющие на прочность и шероховатость поверхности оболочек, уносятся водой.

Сушить песок наиболее целесообразно в установках псевдокипящего слоя с устройствами для его охлаждения и пневматического транспортирования к месту потребления. Для сушки пылевидных материалов рекомендуют те же печи, что и для прокаливания.

Просеивание. Пылевидные материалы следует просеивать через сито № 0063 или 005, в барабанных или вибрационных установках [14].

Прокаливание. Материал, загрязненный намолотым железом и иногда органическими примесями, прокаливают в окислительной среде при 900—950 °С; железо окисляется до Fe_2O_3 и не оказывает вредного действия на суспензию.

Магнитная обработка. Намолотое железо при получении пылевидных материалов удаляют магнитной обработкой суспензий. Для этого у внутренних стенок смесителя укрепляют две три пластины, намагничиваемые электромагнитами, расположенными с наружной стороны. При непрерывном перемешивании частицы железа отрываются от зерен пылевидного материала и оседают на пластинах.

Приготовление шликера. При использовании материалов, загрязненных окислами железа и щелочных металлов, целесообразно их обработку проводить при приготовлении шликера; используемого в дальнейшем для получения суспензии. В подкисленную воду замешивают пылевидные огнеупоры, например, кварц пылевидный [78]. Известны два способа приготовления шликера:

1) в 0,7—0,8 объема смесителя наливают подкисленную воду и в нее при перемешивании порциями насыпают пылевидный материал до соотношения твердой и жидкой составляющих 4:1 по массе; температура шликера вследствие трения повышается, и при $t = 60^\circ\text{C}$ подают воду в рубашку бака, охлаждая шликер до $35\text{—}37^\circ\text{C}$; 2) в емкость наливают подкисленную воду и в нее всыпают пылевидный огнеупор, выдерживают до приготовления суспензии 1—2 сут.

Преимущества шликерного способа приготовления суспензии объясняют тем, что происходит нейтрализация железа, а также щелочных и щелочноземельных примесей. Кроме того, поверхность зерен кварца гидратируется с образованием $\text{Si}(\text{OH})_2$, и разрушаются комочки. Этот способ позволяет уменьшить расход этилсиликата в 1,3—1,5 раза, увеличить живучесть водно-спиртовых суспензий до 5—7 сут, и уменьшить склонность оболочек к образованию трещин при сушке.

Необходимую массу соляной кислоты (г) на 1 кг пылевидного материала определяют по формуле

$$M_{\text{HCl}} = (9,7 \div 10) \cdot x\text{Fe},$$

где $x\text{Fe}$ — содержание железа в пылевидном огнеупоре, % по массе.

Связующие материалы оболочек. Собственно связующим оболочковой формы служит тугоплавкий неорганический окисел или соединения окислов, образующиеся из связующих растворов при сушке и прокаливании оболочек. Их разделяют на кислые, амфотерные и основные (табл. 6.7).

Таблица 6.7

Характеристика исходных связующих материалов оболочек

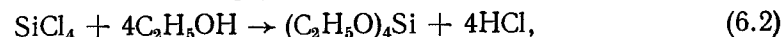
Исходный материал	Характеристика		Связующий окисел	
	Содержание связующего окисла, % по массе	Применяемые растворители	Химическое свойство	Температура плавления или разложения, $^\circ\text{C}$
ЭТС марок 32, 40, 50	32—50	Органические (например, спирт или ацетон)	Кислый	1713
Фосфаты — кислые соли ортофосфорной кислоты	—	Вода	»	1600
Сочетания связующих ЭТС с фосфатными	Сумма	»	»	1700
Бихромат аммония	10—12	»	Амфотерный	1500
Оксихлорид хрома	10—12	Спирт, вода	»	2135
Кальций азотнокислый	—	Метиловый спирт	Основной	2135
				2800

Примечания. 1. Все исходные материалы — жидкости, кальций азотнокислый — кристаллическая соль.

2. Метиловый спирт ядовит.

Кислые связующие широко представлены растворами этилсиликата, из которых образуется в оболочке аморфная двуокись кремния. Формы с ним достаточно прочны и не образуют пригара на отливках из углеродистых сталей, медных и алюминиевых сплавов. К кислым также относятся фосфаты металлов и сочетания этилсиликатного связующего с фосфатным.

Этилсиликаты (ЭТС) — прозрачная или слабоокрашенная жидкость с запахом эфира. Это продукт реакции этилового спирта с четыреххлористым кремнием при непрерывном их смешивании и охлаждении в реакторе. Реакция этерификации, или эфиризации, может быть схематически представлена следующим уравнением (если принимают безводный спирт) [41]:

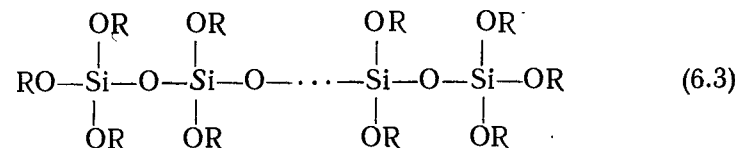


где $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$ — этиловый эфир ортокремниевой кислоты с температурой кипения $165,5^\circ\text{C}$, называемый также тетраэтоксисилоном, или моноэфиром.

При использовании в реакции спирта, содержащего некоторое количество воды, последняя частично гидролизует продукты этерификации, а образовавшиеся молекулы конденсируются (объединяются) с выделением воды, которая вновь вступает в реакцию гидролиза. В результате образуется смесь соединений (табл. 6.8), которую называют техническим ЭТС. Он не содержит двуокиси кремния (SiO_2), но, так как SiO_2 — собственно связующее оболочки, условное количество его в ЭТС принято в обозначении марки продукта.

Для литейного производства отечественная химическая промышленность выпускает ЭТС двух марок: 32 и 40. Технические требования указаны в табл. 6.9. Существенные преимущества ЭТС 40 перед ЭТС 32 заключаются в том, что связующие растворы первого при меньшем содержании в них двуокиси кремния сообщают оболочкам большую прочность вследствие более высокой степени конденсации. Следовательно, для литейного производства целесообразно выпускать только ЭТС 40 и ЭТС 50.

Строение молекул ЭТС 32 и ЭТС 40 линейное, например,



ЭТС 40 и ЭТС 32 не могут быть связующими, так как не сообщают прочность оболочкам. Для получения связующих растворов их необходимо гидролизовать с тем, чтобы линейное строение молекул превратить в разветвленное и частично сшитое или в коллоидный раствор (с. 211—212).

Из сравнения составов отечественных ЭТС с зарубежными следует, что последние содержат примерно вдвое меньше мономера. Известно, что в реакцию гидролиза вступают прежде всего и легче

Таблица 6.8

Соединения, которые могут входить в ЭТС

Формула	Масса, г		Содержание этоксильных групп, % по массе	SiO ₂ , % по массе
	одной молекулы	этоксильных групп		
(C ₂ H ₅ O) ₄ Si	208	180	86,6	28,8
(C ₂ H ₅ O) ₆ SiO	342	270	79,0	35,1
(C ₂ H ₅ O) ₈ Si ₂ O	452	336	74,3	37,1
(C ₂ H ₅ O) ₁₀ Si ₄ O ₃	610	450	73,9	39,3
(C ₂ H ₅ O) ₁₂ Si ₆ O ₄	744	540	72,5	40,32
(C ₂ H ₅ O) ₁₄ Si ₈ O ₅	836	588	70,3	41,0
(C ₂ H ₅ O) ₁₆ Si ₇ O ₆	964	672	69,99	41,5
(C ₂ H ₅ O) ₁₈ Si ₈ O ₇	1092	756	69,0	41,88
(C ₂ H ₅ O) ₂₀ Si ₉ O ₈	1220	840	68,8	42,12
(C ₂ H ₅ O) ₂₂ Si ₁₀ O ₉	1348	924	68,5	42,43
(C ₂ H ₅ O) ₂₄ Si ₁₁ O ₁₀	1476	1008	67,5	42,64
(C ₂ H ₅ O) ₂₆ Si ₁₂ O ₁₁	1604	1092	68,0	42,83
(C ₂ H ₅ O) ₂₈ Si ₁₃ O ₁₂	1732	1176	67,8	42,95
(C ₂ H ₅ O) ₃₀ Si ₁₄ O ₁₃	1860	1260	67,7	43,076

Таблица 6.9

Технические требования на ЭТС

Показатель	ЭТС 32 ТУ 6-02805-74	ЭТС 40 ГОСТ 5.1174-71	ЭТС 50
Внешний вид	Жидкость, допускается опалесценция	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	≤1000	1040—1070	1180—1250
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	Не более 1,6	3,5—6,0	50—200
Содержание, % по массе:			
HCl	≤0,1	0,1	≤0,1
SiO ₂	30—34	40±2	51—54
Содержание, % по массе:			
фракции с температурой кипения до 110 °С	≤2,0	Не анализируется	≤2
этоксильных групп (C ₂ H ₅ O)	—	60—72	57—61
тетраэтоксисилана (эфира ортокремниевой кислоты)	50—70	<10	Нет
этилового спирта	—	≤1,5	≤2
Продолжительность гелеобразования, мин	—	150—210	—

всего мономеров, они же выделяют при гидролизе наибольшее количество спирта. Этим можно объяснить затруднения при использовании импортного ЭТС 40, содержащего небольшое количество мономера, для получения суспензии без введения органического растворителя, так как гидролиз идет очень вяло. Для интенсификации

Таблица 6.10

Кремнезоли, стабилизированные NaOH

Место изготовления	Концентрация NaOH, % по массе	Концентрация SiO ₂ , % по массе	ρ, кг/м ³	pH	Размер коллоидных частиц, нм
МХТИ им. Д. И. Менделеева	0,28—0,65	9,03—39,8	1052—1287	9,2—9,6	10—15
Фирма Monsanto	0,42	27,3	1197	9,35	10

гидролиза следует добавить ~10 % взаимного растворителя — спирта или ацетона.

Кремнезоли [27] (табл. 6.10) получают методом удаления ионов натрия, пропуская разбавленный силикат натрия (жидкое стекло) через катионитовую смолу с последующим нагревом полученных продуктов в щелочной среде и дальнейшим концентрированием.

Кремнезоли — коллоидные дисперсии двуокиси кремния в воде, стабилизированные гидроокисями щелочных металлов. Они содержат силанольные группы ≡Si—OH, которые поликонденсируются с образованием прочных силоксановых связей, например, ≡Si—O—Si≡; перезаряжаются в воде, подкисленной соляной кислотой. Кремнезоли, разбавленные водой до 3,5—6 % SiO₂, в сочетании с водно-спиртовыми этилсиликатными связующими при совмещенном способе приготовления суспензий существенно увеличивают прочность оболочек, что позволяет снизить расход ЭТС 40 и исключить органические взрыво- и пожароопасные жидкости (растворители). Кремнезоли находят применение и для формирования облицовочного слоя оболочек. Недостаток кремнезелей — потеря связующих свойств после заморозания.

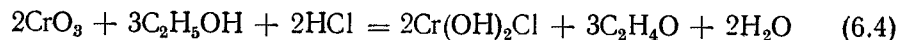
Фосфаты. Однозамещенные соли ортофосфорной кислоты железифосфат [Fe(H₂PO₄)₂], алюмохромфосфат [Al₃Cr(H₂PO₄)₁₂], железалоумофосфат [FeAl₃(H₂PO₄)₁₂] обладают связующими свойствами [27, 45, 53]; хорошо растворимы в воде и нерастворимы в спиртах и ацетоне; при сушке приобретают полимерные структуры типа Me_nO_m·P₂O₅·H₂O, а после прокаливании Me_nO_m·P₂O₅, так как удаляется кристаллизационная вода; прочность оболочек повышается. Двухзамещенные соли ортофосфорной кислоты не обладают связующими свойствами.

Известное до 50-х годов алюмофосфатное связующее (АФС), используемое в производстве огнеупоров, не получило применения в литье по выплавляемым моделям, так как образующиеся при прокаливании полиморфные формы претерпевают превращения с изменением объема аналогично кристаллическому кварцу. АФС стареет с увеличением вязкости и снижением связующих свойств и твердеет только при 300—400 °С. С введением в него одного из металлов Fe, Cr, Ni, Mn, Ca, Mg получают соединения типа Me_nO_m·Al₂O₃·P₂O₅. Они твердеют при 20—30 °С в процессе сушки на воздухе и при прокаливании.

Однозамещенные фосфаты стабилизируют суспензии с ЭТС связующим без введения в последние органических разбавителей.

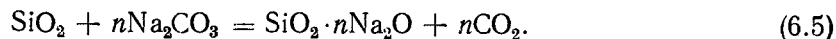
Алюмометаллофосфаты используют как самостоятельное связующее для оболочек, так и в сочетании с ЭТС. При этом растворы из ЭТС содержат >10 % двуокиси кремния [62].

Амфотерные связующие — это растворы основных солей (оксисолей) алюминия, хрома, циркония (оксинитраты, оксихлориды) и растворы цирконийорганического соединения (тетрахлорэтилцирконаты). В процессе сушки и прокаливания оболочек цементация зерен происходит вследствие образования оксидов хрома, алюминия, циркония на поверхности зерен. Сущность получения оксисолей основана на восстановлении хромового ангидрида этиловым спиртом (или ацетоном) в присутствии соляной кислоты согласно уравнению



Основные связующие. Представители этой группы связующих — азотнокислый кальций и жидкое стекло. Азотнокислый кальций растворим в метиловом спирте (см. табл. 6.7), после прокаливания оболочки он образует оксид кальция — собственно связующее, которое в сочетании с основой из плавленной или спеченной окиси магния или с окисью кальция дает возможность изготавливать высокоогнеупорные оболочки, химически стойкие к сплавам с основными свойствами.

Жидкое стекло (ЖС) также относят к основным связующим, так как его водная вытяжка после прокаливания оболочки — щелочная; получают растворением в горячей воде при повышенном давлении раздробленной силикат-глыбы. Последнюю изготавливают наиболее часто сплавлением кремнезема с содой

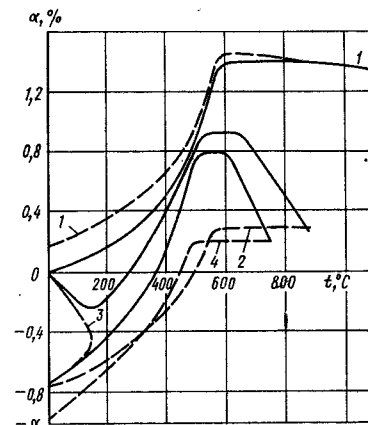


ЖС может быть натриевым, калиевым или литиевым.

Применение ЖС для «упрочняющего» слоя оболочки не отвечает требованиям получения качественных отливок. При прокаливании ЖС плавится при 793 °С, а размягчается при более низкой температуре, т. е. наружный слой с этим связующим при прокаливании оболочки и заливке в нее стали полностью теряет прочность. При охлаждении же до температуры ниже 600 °С прочность таких оболочек во много раз выше прочности их со связующим из ЭТС, а усадка вследствие жидкостного спекания наружного слоя больше, чем слоев со связующими, получаемыми из ЭТС (рис. 6.8). Потеря прочности при нагреве оболочек и высокая прочность при одновременной высокой усадке остывающего наружного слоя оболочки всегда приводит к искажению контура отливок и часто к трещинам в них (рис. 6.9). Такие отливки недопустимо называть точными.

Органические растворители-разбавители (РР) приведены в табл. 6.11. Они, как правило, содержат воду, которую необходимо учитывать при расчетах состава связующих.

Рис. 6.8. Дилатометрические кривые оболочек: 1 — этилсиликатная; 2 — жидкостекляная; 3, 4 — этилсиликатные с «упрочняющим» жидкостекляным слоем соответственно при выплавлении моделей и при нагреве и их охлаждении; — — — нагрев; — — — охлаждение



Особенно быстро обсыхают суспензии с ацетоновым РР, хотя прочность оболочек выше, чем при использовании только этилового спирта. Это объясняется тем, что некоторая часть ацетона образует ацетали с ЭТС. Быстрое же обсыхание суспензий с ацетоном обусловлено его интенсивным испарением, так как температура кипения ацетона 56,5 °С, а спирта 78,5 °С.

Предложено считать нормой $\tau_{\text{обс}} = 30$ с, т. е. время, в течение которого к суспензии на блоках еще хорошо прилипают обсыпные зерна [4, 49]. Для защиты суспензий с ацетоном от его быстрого испарения, используют антииспарители — высшие жирные спирты (ВЖС) с содержанием в молекуле 17—19 атомов углерода. Количество антииспарителя увеличивают с уменьшением содержания двуокиси кремния в связующем (табл. 6.12, рис. 6.10).

Добавки. Добавки вводят в пылевидный материал при подготовке шликера; в связующий раствор при его приготовлении; в суспензию при смешении связующего раствора с пылевидной составляющей; в обсыпный материал; в ванны с горячей водой для выплавки моделей (табл. 6.13).

Таблица 6.11

Растворители-разбавители

РР	Примеси, % по массе, не более	Точка кипения, °С	ρ , кг/м³
Спирт этиловый ректификат $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ Спирт этиловый сырец $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Вода Вода, сивушные масла	~78	~790
Спирт этиловый гидролизный $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ Спирт этиловый синтетический Эфиральдегидная фракция (ЭАФ)	Вода 1,5 метилового спирта, 2 сивушных масел 30 эфиров	78,5	790
Спирт изопропиловый $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ Ацетон технический $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ Спирт метиловый CH_3OH	14 воды — —	82,4 56,5 64,1	780 790—800 790

Добавки, применяемые для улучшения свойств оболочки

Введение добавки	Добавка	Примерное количество добавки, % по массе	Назначение
При подготовке шликера из пылевидного материала	Соляная кислота HCl	См. расчеты	Нейтрализация примесей
Для гидролиза ЭТС	Вода H ₂ O	То же	Получение связующего из ЭТС 40 или ЭТС 32
В воду при гидролизе ЭТС	Соляная кислота HCl	»	Катализатор гидролиза и поликонденсации
	Сернокислый алюминий Al ₂ (SO ₄) ₃ 18H ₂ O	0,1 к связующему раствору	Повышение стабильности связующих растворов и суспензий типов орг-1, 2, 3
В начале приготовления водно-спиртовой суспензии со связующим из ЭТС	Поверхностно-активные вещества: метапон, сульфанол, ДНС	До 0,22 к пылевидной составляющей суспензии	Смачивание моделей суспензией, разжижение суспензии
За 10—12 мин до окончания приготовления суспензии	Поливинилбутираль — раствор в спирте	0,08—0,5 к связующему	Повышение седиментационной устойчивости суспензий и газопроницаемости оболочек
После приготовления суспензии	ВЖС	0,5—1,2	Уменьшение испарения ацетона и спирта на блоках моделей и в ванне с суспензией
При приготовлении суспензии	Закись-окись кобальта Co ₂ O ₄	2,5 к корундовой суспензии	Повышение механических свойств и свариваемости жаропрочного сплава при заливке в вакуум
В обсыпку	Карбонат кальция	40—50 к обсыпке	Растворение в воде оболочек на алюминиевых отливках
В обсыпочный материал	Поваренная соль NaCl	До 50 к обсыпке	Растворение в воде остатков оболочек на алюминиевых отливках
В горячую воду (~100 °C) для выплавления моделей	Контакт Петрова	0,1—0,2 объема воды	Предупреждение омыления модельных составов, защита ванн от коррозии

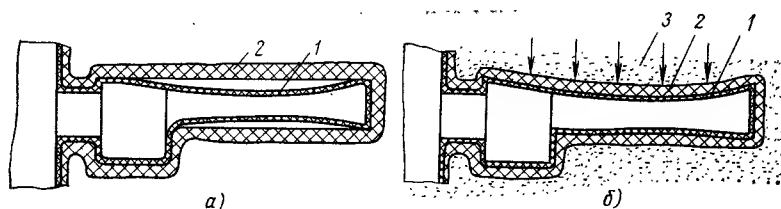


Рис. 6.9. Схемы образования дефектов на отливках в «упрочненных» жидкостекольным связующим оболочках:

а — выпучивание слоя с ЭТС при выплавлении моделей горячим воздухом; б — прогиб (смятие) оболочки при прокаливании вследствие полной потери прочности «упрочняющего» слоя; 1 — слой с ЭТС связующим; 2 — «упрочняющий» слой; 3 — сыпучий наполнитель

Таблица 6.12

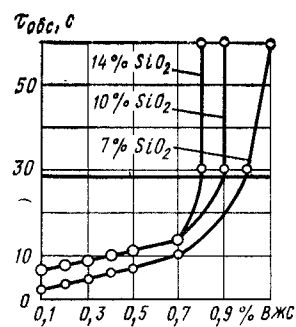
Продолжительность обсыхания суспензий $\tau_{обс}$ (с) на блоках моделей и прочность образцов оболочек $\sigma_{и}$ (МПа)

Номер раствора	РР. % по массе	Содержание SiO ₂ , % по массе, в связующем типа орг-2							
		5		7		10		14	
		$\tau_{обс}$	$\sigma_{и}$	$\tau_{обс}$	$\sigma_{и}$	$\tau_{обс}$	$\sigma_{и}$	$\tau_{обс}$	$\sigma_{и}$
1	Ацетон — 100 *	3	2,0—2,3	4	4,1—4,2	6	5,2—5,3	8	6,0—6,5
2	Ацетон — 60, этиловый спирт — 40	8	1,8—1,9	11	2,8—3,0	14	3,4—3,7	17	5,0—5,2
3	Ацетон — 20, этиловый спирт — 80	29	—	33	—	38	—	42	—
4	Этиловый спирт — 100	48	1,6—1,8	55	2,1—2,3	60	2,5—2,8	60	3,8—4,0

* Спирт, выделившийся при гидролизе, в расчет не принят.

Особое место занимают поверхностно-активные вещества (ПАВ) в технологии изготовления оболочек из водно-спиртовых суспензий (называемых водными). ПАВ улучшают смачивание моделей и уменьшают вязкость суспензий [57, 103].

Добавка в суспензии 0,08—0,2 % поливинилбутирала к спиртовому связующему типов орг-1 и орг-2 повышает седиментационную устойчивость суспензий, газопроницаемость и прочность оболочек [106].

Рис. 6.10. Предел обсыпaeмости $\tau_{обс}$ блоков моделей в зависимости от содержания условного SiO₂ в растворе типа орг-2

Введение в обсыпку 30—40 % поваренной соли или 40—50 % карбоната кальция позволяет разупрочнять оболочки в воде после их заливки, что важно при получении отливок [39, 52] из сплавов на алюминиевой основе.

6.4. СВОЙСТВА СУСПЕНЗИЙ И ОБОЛОЧЕК

Наиболее существенны следующие свойства: точность воспроизведения микрорельефа поверхности и конфигурации моделей, прочность, термическая и химическая стойкость, газопроницаемость и способность аккумулировать теплоту отливки.

Точность воспроизведения микрорельефа поверхности и конфигурации моделей. Хорошее смачивание и прочное прилипание суспензии к поверхности модели, а также соответствующие зерновой состав и окатанная форма зерен пылевидной составляющей — необходимые условия формирования качественной оболочки.

Жидкость (связующий раствор) смачивает поверхность тем лучше, чем больше силы сцепления, действующие между молекулами твердой поверхности и жидкости. Количественно это выражается углом смачивания θ (рис. 6.11). При $\theta > 90^\circ$ суспензия не смачивает модель, с уменьшением угла θ смачивание улучшается.

При недостаточном смачивании суспензией модели воздух остается на ее поверхности в виде пузырьков и образует шаровидные углубления в оболочке, особенно в острых внутренних углах, что на отливках проявляется в виде шаровидных бугорков. Применение очень вязкой суспензии для первого слоя (например 80—100 с) также способствует образованию этого дефекта. Прочное прилипание суспензии и воспроизведение рельефа поверхности модели оболочкой достигается в том случае, если угол смачивания $\theta < 45^\circ$, а условная вязкость суспензии в пределах 25—60 с по вискозиметру ВЗ-4.

Избирательное смачивание состоит в том, что суспензия может смачивать поверхность модели и поверхность обсыпки, но силы сцепления суспензии с обсыпкой несколько больше, чем силы сцепления с моделью. Это проявляется в том, что при обсыпке блока зернистым материалом суспензия, смачивающая его, лучше, чем модель, отрывается от поверхности последней в отдельных точках, образуя сетку углублений или отдельные кратеры на поверхности оболочки. На практике причину образования подобной шероховатой

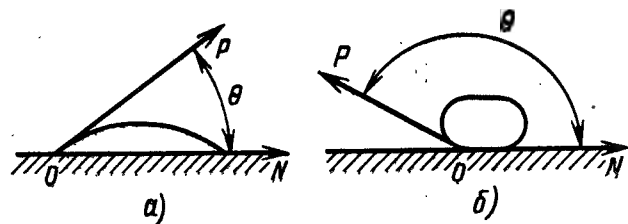


Рис. 6.11. Смачивание поверхности модели суспензией (схемы):
а — смачивает ($\theta < 90^\circ$);
б — не смачивает ($\theta > 90^\circ$)

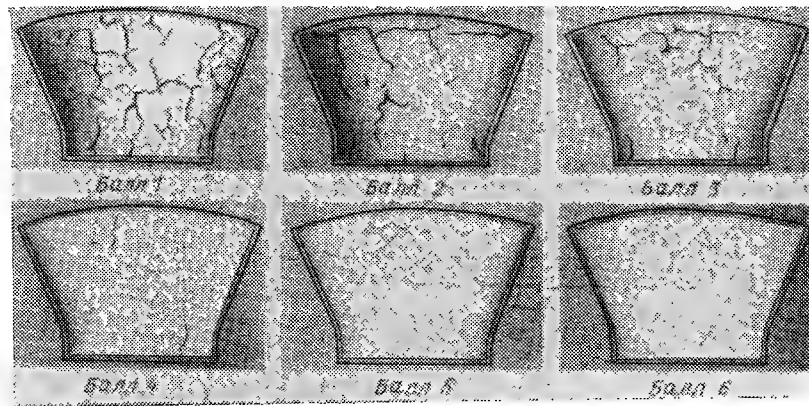


Рис. 6.12. Оценка свойств суспензий образовывать трещины при сушке на модели воронки стояка (по шестибальной системе ЗИЛа)

поверхности на отливках называют пробиванием слоя суспензии обсыпчным материалом.

Для достижения смачивания моделей суспензией в нее вводят ПАВ, понижающие поверхностное натяжение воды и не реагирующие с составляющими суспензий.

Зерновой состав пылевидного материала суспензии должен представлять собой смесь зерен различной дисперсности, включая зерна размером < 1 мкм. Чем выше требования к поверхности отливок, тем должен быть тоньше (мельче) пылевидный материал, особенно для первого слоя.

Для предупреждения расслоения суспензии, т. е. поддержания постоянства зернового состава по высоте, ее непрерывно перемешивают. Чтобы уменьшить скорость оседания твердых частиц, следует увеличить вязкость жидкой составляющей, например введением добавок (см. табл. 6.13).

Склонность оболочки к образованию трещин при сушке оценивают по технологическим пробам (рис. 6.12) в зависимости от состава связующих, пылевидных составляющих, скорости сушки. Слой суспензии не обсыпают, так как при этом снижается влажность, а следовательно уменьшается склонность ее к образованию трещин [34, 41].

Прочность. В затвердевшей оболочке вследствие расширения или усадки моделей, а также при выплавлении или выжигании последних, возникают напряжения растяжения, сжатия, изгиба, среза. Если эти напряжения достигнут предела прочности оболочки, то в ней появятся трещины — наиболее частый дефект.

Расплав во время заливки и после, до образования прочного затвердевшего слоя, оказывает давление на оболочку изнутри и может разрушить ее. Следовательно, оболочка должна обладать достаточными прочностью и жесткостью, чтобы противостоять давлению

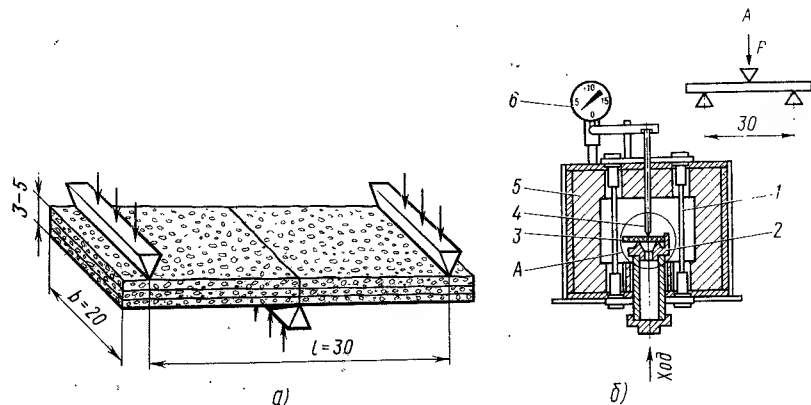


Рис. 6.13. Принципиальная схема определения $\sigma_{\text{ш}}$, МПа:

a — нагруженные образцы; *б* — испытание при высоких температурах; 1 — силовые нагреватели; 2 — опоры; 3 — образец; 4 — шток; 5 — печь; 6 — динамометр

расплава к разрывающему действию при его течении. Особенно важна прочность и жесткость оболочки в горячем состоянии. После затвердевания отливки оболочка должна быть податлива, чтобы не препятствовать усадке металла во избежание образования внутренних напряжений в отливках, приводящих нередко к короблению и трещинам в них.

Требования к прочности оболочки в горячем состоянии и податливости ее противоречивы. Предотвратить трещины можно снижением прочности оболочки до возможного предела или повышением температуры формы с тем, чтобы замедлить остывание затвердевшей отливки. Медленное охлаждение (2—10 ч) в горячих формах уменьшает также коробление отливок.

Оболочка должна легко разрушаться после охлаждения с тем, чтобы не затруднять очистку отливок. Этому условию наиболее полно отвечают порошки НКС при литье сплавов на железной и никельной основах, а также добавки поваренной соли и мраморной крошки при литье алюминиевых сплавов [39, 52] в обсыпку при получении отливок из сплавов на основе алюминия.

Прочность оболочковых форм оценивают испытанием образцов при статическом изгибе (рис. 6.13); наиболее часто применяют оболочки с $\sigma_{\text{ш}} = 3 \div 10$ МПа.

Прочность рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{ш}} = 3Pl / (2bh), \quad (6.6)$$

где P — нагрузка, Н; l — расстояние между опорами, мм; b — ширина образца, мм; h — высота образца, мм.

Методика (см. рис. 6.13) позволяет испытывать образцы при 20 °С и при температурах до 1450 °С. Нагрузку передают через электрокорундовый стержень, заточенный под углом 30°. Для опор исполь-

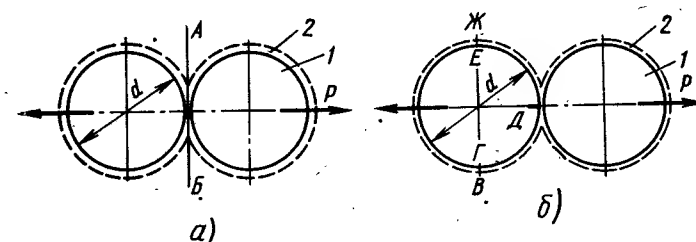


Рис. 6.14. Схемы разрушения оболочки:

a — когезионное, по перемычкам *AB*; *б* — адгезионно-когезионное, пленка отрывается от зерна по поверхности *ГДЕ* и разрушается по ее толщине *ЖЕ* и *ГВ*; 1 — пылевидные зерна суспензии со средним диаметром d ; 2 — пленка связующего; P — усилие

зуют также электрокорундовую подставку с теми же углами. Длина опор 100 мм, так что в печи могут находиться сразу несколько образцов. Определяют величину более трех образцов. Разброс значений $\sigma_{\text{ш}}$ должен быть не более 10 %.

Разрушение оболочки может произойти вследствие разрыва пленок связующего по *AB* в местах соприкосновения зерен, т. е. преодоления сил когезии связующего — когезионное разрушение (рис. 6.14, *a*), либо в результате отрыва пленки связующего от поверхности зерна по кривой *ГДЕ*, т. е. преодоления сил адгезии и одновременного разрыве этой пленки, преодоления сил когезии — адгезионно-когезионное разрушение. Разрыв зерен основы маловероятен (рис. 6.14, *б*).

В оболочках, как правило, наблюдается первый тип разрушения. Поэтому прочность оболочки увеличивается с повышением прочности связующего и увеличением числа контактов. Так, самую высокую прочность сообщают связующие из ЭТС типа орг-1. Число контактов в единице площади разрушения или объема оболочки увеличивается с уменьшением размеров твердых частиц суспензии, увеличением их удельной поверхности или снижением пористости.

Это вытекает из формул П. А. Ребиндера [73] для макропористой структуры оболочки

$$P_m = a_1 \bar{F}_c n^{2/3} = a_2 \bar{F}_c \Phi S_1^2 = a_3 \bar{F}_c (1 - \Pi) \delta^{-2}, \quad (6.7)$$

где a_1, a_2, a_3 — постоянные; $\bar{F}_c$ — средняя сила сцепления в контакте; n — число контактов в единице объема; S_1 — удельная поверхность частиц с характерным размером δ ; $1 - \Pi = \phi$ — пористость дисперсной системы.

Зерна одной фракции или близкие по размерам не могут обеспечить плотную их упаковку. Для плотной упаковки соотношение между количеством крупной и мелкой фракций должно быть таким, чтобы пустоты между крупными зернами были заполнены более мелкими. Оптимальное соотношение между крупной и мелкой фракциями 7 : 3, при соотношении размеров зерен около 1 : 10. При полидисперсном пылевидном материале суспензии (со средними

размерами зерен $<0,05$ мм) наиболее плотная укладка будет при обсыпке суспензии песком марки 016, но при этом будет низкая газопроницаемость. Для достижения необходимой газопроницаемости и одновременно прочности оболочки последующие слои следует обсыпать более крупными зернами.

При рассредоточенном зерновом составе пылевидной составляющей суспензии вследствие более плотной упаковки зерен увеличивается число перемычек между зернами и повышается прочность оболочки, но с повышением дисперсности газопроницаемость уменьшается. Повышение прочности таким путем ограничено необходимостью иметь достаточную газопроницаемость.

Длительная жаропрочность. При получении отливок с направленной структурой оболочки работает длительное время под действием растяжения при температуре выше температуры ликвидуса расплава. Для таких условий работы первостепенное значение имеет длительная жаропрочность оболочки, которую необходимо знать для того, чтобы правильно рассчитать, например, толщину оболочки. При температуре выше 1200°C прочность окисных оболочек снижается (табл. 6.14) вследствие ослабления структурных связей. Оценивают эту прочность измерением ползучести (рис. 6.15). Ползучесть — это скорость изменения размеров образца под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре в течение длительного времени. По нашему мнению, ползучесть оболочек целесообразно оце-

Таблица 6.14

Свойства образцов оболочковых форм

Показатель	Образцы			
	непрокаленные		предварительно прокаленные при 1600°C	
	SiO_2	Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
Кажущаяся плотность, кг/м^3	1930	2340	1590	2520
Кажущаяся пористость, %	24,0	25,0	32	36
$\sigma_{\text{и}}$, МПа, при температуре, $^\circ\text{C}$:				
20	9,3	3,9	1,2	13,5
500	8,0	5,2	7,0	13,0
900	7,6	6,8	5,5	10,0
1250	7,5	—	3,2	4,8
1350	7,3	—	—	—
1450	1,2	—	—	—
Термостойкость (остаточная прочность при изгибе), %, при охлаждении:				
с 850°C (вода)	12	—	22	39
с 1300°C (воздух)	52	82	Испытания не проводили	
Теплопроводность в интервале температур $20\text{--}1200^\circ\text{C}$, $\text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	0,7—0,6	0,8—0,6	0,7—0,6	0,8—0,6

Примечание. Работа проведена в лаборатории кафедры химической технологии керамики и огнеупоров МХТИ им. Д. И. Менделеева.

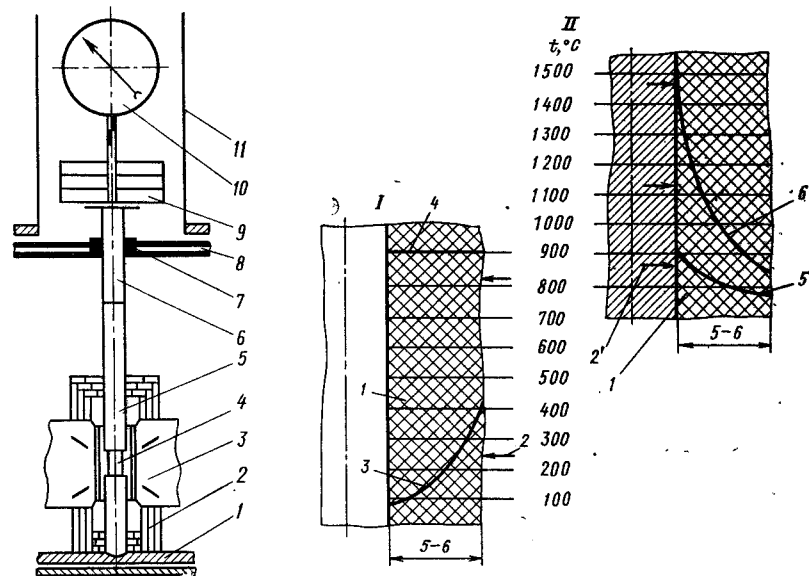


Рис. 6.15. Схема определения температуры деформации под нагрузкой:

1 — дно печи; 2 — экраны; 3 — нагреватель; 4 — образец; 5 — верхний шток (графит); 6 — пуансон (металл); 7 — направляющая втулка; 8 — крышка печи; 9 — грузы; 10 — индикаторная головка; 11 — каркас

Рис. 6.16. Схемы температурных полей в оболочках:

1 — прокаливание; 11 — заливка стали с содержанием 0,4 % С; 1 — оболочка; 2 и 2' — нагрев соответственно от печи и от металла; 3 и 4 — распределение температуры соответственно в начале и в конце прокаливания; 5 — распределение температуры перед заливкой; 6 — то же, после затвердевания отливки

нивать по величине стрелы прогиба при испытании на изгиб. Наибольшей длительной жаропрочностью обладают соединения, не образующие стекловидной фазы.

Термическая стойкость оболочки. Факторы, влияющие на термическую стойкость оболочки, можно оценить по формуле

$$\sigma_t = \pm \{ \alpha E / [2(1 - \mu)] \} (t_1 - t_2), \quad (6.8)$$

где α — коэффициент линейного расширения; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона; $t_1 - t_2$ — перепад температуры в оболочке (рис. 6.16).

Рассмотрим значение термостойкости оболочки, когда основой ее служат кристаллический кварц. При прокаливании оболочки ее наружные слои нагреваются до более высоких температур (см. рис. 6.16) и расширяются, чему препятствуют внутренние более холодные слои. В последних возникают растягивающие напряжения, которые при быстром нагреве оболочки могут превысить ее предел прочности и вызвать образование в ней трещин. Через некоторое время после окончания заливки контактная поверхность оболочки нагревается до температуры, близкой к средней температуре затвердевания расплава. Температура же наружных слоев некоторое время

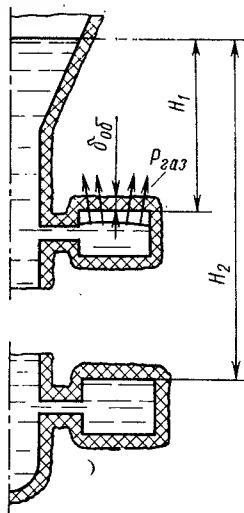


Рис. 6.17. Схема удаления газов из оболочки при заливке расплавом:

H_1 , H_2 — высоты напора расплава; $\delta_{об}$ — толщина оболочки

остается первоначальной. Вследствие этого в контактном слое возникают сжимающие напряжения, а в наружных — растягивающие.

В результате расширения контактного слоя возможны три явления, приводящие к дефектам отливок: вспучивание тонкого облицовочного слоя, под который проникает металл, и образование дефекта, называемого ужиминной; выкрашивание поверхностных зерен по линиям наибольших напряжений, зерна образуют засоры в отливках, на их поверхности наблюдаются дефекты в виде протяженных углублений — бороздок; образование трещин в наружном слое оболочки, которые могут стать сквозными, в них проникает металл,

образуя наросты — гребешки на отливках; при литье в незаформованные оболочки возможен уход металла из формы.

При получении отливок из сплавов, затвердевающих выше температуры 1570 °С, недопустимо применение оболочковых форм из кристаллического кварца, так как они не обладают термостойкостью, что является основной причиной брака.

Газопроницаемость. Перед заливкой полость оболочковой формы заполнена воздухом (если ее заливают не в вакууме). В оболочке содержится некоторое количество газотворных составляющих, например продуктов деструкции остатков модельного состава и этоксильных групп связующего из ЭТС. Во время заливки оболочки расплавом воздух и газы нагреваются, расширяются и в полости создается повышенное давление $p_{газ}$ — воздушная подушка (рис. 6.17). Если $p_{газ} > H\gamma$ (H — высота столба металла, γ — удельный вес расплава), движение расплава прекратится, и он может затвердеть раньше, чем заполнит форму. Получаемая отливка будет с браком по недоливу.

Независимо от причин образования газов они должны быть удалены из полости через стенки оболочки в период заливки. Так как выпоры в оболочках обычно не применяют (хотя при крупных отливках они необходимы), газы выходят из формы путем ламинарной фильтрации через оболочку.

Стандартные испытания газопроницаемости при 15—20 °С характеризуют воздухопроницаемость смеси или оболочки при постоянной вязкости воздуха. Оболочковые же формы заливают в горячем состоянии, при 600—1100 °С и выше.

Минимально необходимую газопроницаемость оболочки при заливке рассчитывают по формуле [105, 106]

$$K_{t \min} = 2\delta_{об}b_{\phi}^2(t_{зал} - t_{н.ф})^2/[\pi R \Delta p r_1^2 c_1^2(t_{зал} - t_1)^2], \quad (6.9)$$

где $\delta_{об}$ — толщина оболочки; b_{ϕ} — коэффициент аккумуляции теплоты оболочки; $t_{зал}$ — температура расплава в момент заполнения оболочковой формы; $t_{н.ф}$ — температура оболочки в момент заливки; R — приведенная толщина тонкой части отливки, $R = d/2$ (d — толщина плоской отливки); Δp — давление расплава, $\Delta p = H\gamma$ (H — высота столба расплава; γ — удельный вес расплава); r_1 — плотность расплава; c_1 — теплоемкость расплава; t_1 — температура окончания заполнения полости формы: $t_1 = t_{л} + (15 \div 20)^\circ\text{C}$.

Известно, что вязкость всех газов увеличивается с повышением температуры. Возможны также изменения проницаемости оболочки, например, увеличение ее вследствие образования трещин или уменьшение при спекании.

Газопроницаемость оболочки

$$K_t = K_{20}M,$$

где K_{20} — газопроницаемость при температуре 20 °С; M — коэффициент, характеризующий изменение вязкости газа, находящегося в полости оболочки, вследствие нагрева его при заливке формы (табл. 6.15).

Таблица 6.15

Коэффициент M

Температура воздуха в форме, °С	Динамическая вязкость воздуха, мкПа·с	$M = \mu_{20}/\mu_t$	Температура воздуха в форме, °С	Динамическая вязкость воздуха, мкПа·с	$M = \mu_{20}/\mu_t$
20	18,1	1,0	800	43,65	0,41
400	32,76	0,55	1000	48,5	0,37
600	38,42	0,47			

На рис. 6.18 приведены экспериментальные данные газопроницаемости оболочек. Скачок газопроницаемости оболочки из кристаллического кварца при температуре ~570 °С объясняется образованием в образце трещин при превращении кварца $\beta_{кв} \rightleftharpoons \alpha_{кв}$; газопроницаемость же корундовой оболочки, прокаленной предварительно при 1300 °С, уменьшается плавно в соответствии с повышением вязкости азота.

Из рассмотренного следует, что показатели газопроницаемости оболочки при температуре 20 °С и при температуре заливки не могут быть равнозначны. Однако первый показатель может косвенно и приблизительно характеризовать свойство проницаемости ее при рабочих температурах. При заливке форм в вакууме газопроницаемость оболочек может и должна быть ниже. Один из методов определения газопроницаемости ускоренным способом приведен на рис. 6.19 [34]. Увеличивают газопроницаемость оболочек введением в суспензию выгорающих при прокаливании добавок.

Теплофизические свойства оболочек. К этим свойствам относят теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение, теплоакку-

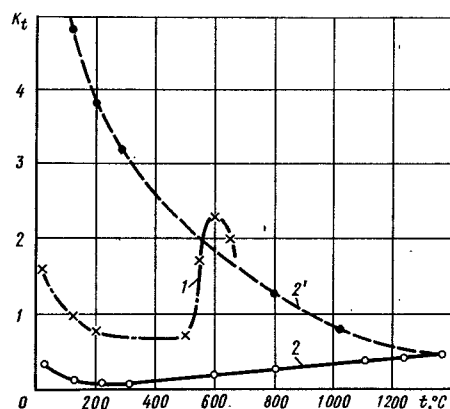


Рис. 6.18. Зависимость газопрооницаемости оболочки от температуры:
1 — из кристаллического кварца, прокаленная; 2 и 2' — из электрокорунда, прокаленная, соответственно нагрет и охлаждение

мулирующую способность. Последнее служит собирательным теплофизическим свойством оболочки, называемым также тепловой активностью формы.

Теплоемкость — свойство основы вещества, из которого изготовлена оболочка. При нагреве окислов и их сближении до 700—800 °С теплоем-

кость увеличивается примерно в 2 раза. При дальнейшем нагреве оболочки теплоемкость изменяется незначительно.

Теплопроводность характеризует скорость переноса теплоты в оболочке.

Для капиллярно-пористых тел — оболочек различают истинную и эффективную теплопроводность. Эффективная включает собственно теплопроводность (кондуктивную), перенос теплоты газами в капиллярах оболочки и передачу теплоты излучением внутри оболочки от зерна к зерну, через поры или капилляры. В горячей оболочковой форме последний способ теплопередачи имеет доминирующее значение.

В табл. 6.16 приведены экспериментальные данные, из которых видно, что образцы кристаллического кварца и корунда имели близкие значения теплопроводности, которые увеличиваются с повышением температуры оболочек.

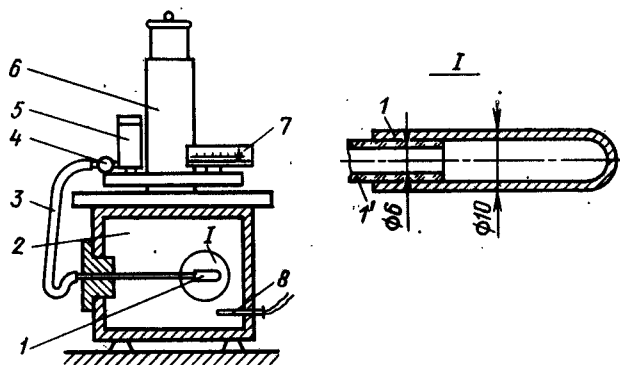


Рис. 6.19. Схема определения газопрооницаемости при нагреве образцов (метод ЗИЛа):
1, 1' — образцы оболочки и кварцевой трубки; 2 — муфельная печь; 3 — шланг резиновый с крапом; 4 — коллектор; 5 — гильза; 6 — бак с колоколом; 7 — манометр; 8 — термомпара

Теплопроводность кварцевых и электрокорундовых оболочек

$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	Теплопроводность оболочек, Вт/(м·°C)			
	при нагреве		после предварительного прокаливания при 1600 °C и охлаждения с печью	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
400—600	0,65	0,78	0,67	0,83
700—900	0,60	0,61	0,53	0,60
1400—1500	1,02	0,56	0,52	0,46

Термическое расширение. Следует различать термическое расширение и расширение, как следствие полиморфных превращений при нагреве окисла. Исследования показывают, что для оценки термического расширения оболочек можно использовать данные, накопленные при изучении свойств технической керамики.

Коэффициент термического расширения материала основы обуславливает термическую стойкость оболочек.

Теплоаккумулирующее свойство оболочки характеризует интенсивность теплообмена с отливкой, определяет продолжительность отвода теплоты перегрева отливки и отвода ее теплоты кристаллизации L_1 [формула (6.1)]. Теплоаккумулирующее свойство оболочки характеризуется коэффициентом аккумуляции теплоты формой

$$b_{\text{ф}} = \sqrt{c_{\text{ф}} \lambda_{\text{ф}} \rho_{\text{ф}}}, \quad (6.10)$$

где $c_{\text{ф}}$ — теплоемкость формы, Дж/(кг·°C); $\lambda_{\text{ф}}$ — теплопроводность формы, Вт/(м·°C); $\rho_{\text{ф}}$ — плотность оболочки, кг/м³.

Рассчитанные по формуле (6.10) значения $b_{\text{ф}}$ могут в 1,5—2 раза отличаться от экспериментальных, так как $b_{\text{ф}}$ сильно изменяется с изменением температуры и при температуре выше 700 °С доминирующая роль в теплопередаче пористых тел принадлежит теплоизлучению через поры оболочки.

Для инженерных расчетов продолжительности заливки и затвердевания отливок следует использовать экспериментальные значения $b_{\text{ф}}$, приведенные в табл. 6.17.

Следует учитывать, что продолжительность затвердевания отливки можно рассчитывать по формуле (6.1) только при условии, если оболочковую форму допустимо рассматривать как полубесконечное тело относительно толщины стенки отливки, т. е. когда нагретая оболочка в состоянии аккумулировать всю теплоту перегрева и затвердевания отливки.

Химическая стойкость. При заливке с момента соприкосновения расплава с оболочкой и еще некоторое время на поверхности металла образуется окисная пленка вследствие взаимодействия расплава с кислородом воздуха. После заливки продолжается окисление сплава и взаимодействие окислов его с окислами оболочки.

Материал основы оболочки	Темпе- ратура формы, °C	b_{ϕ} , Вт·с ^{1/2} /(м ² ·°C)	Материал основы оболочки	Темпе- ратура формы, °C	b_{ϕ} , Вт·с ^{1/2} /(м ² ·°C)
Кварц кри- сталлический	20 595 815	1116,48 1256,0 1884,0	Плавленный кварц (НКС)	680	1151,3
Плавленный кварц (НКС)	20	628,0	Циркон	20 760	837,3 1465,4

В период затвердевания и после него продукты взаимодействия могут образовывать легкоплавкие эвтектики, которые будут заполнять капилляры оболочки; пропитывая ее. Между отливкой и оболочкой образуется (по терминологии Б. Б. Гуляева) контактная зона, называемая также пригаром. Одновременно с окислением поверхности отливки и превращениями материала оболочки, как следствие этих процессов, на поверхности отливок и в их поверхностном слое образуются дефекты: окалина, которая повышает шероховатость поверхности отливок и снижает их размерную точность; обезуглероженный слой на глубине до 1 мм при литье углеродистых сталей; повышенное содержание фосфора в поверхностном слое отливок при добавках фосфатов в связующие растворы суспензий для первого слоя; микротрещины на поверхности отливок из стали типа ХГСЛ (по нашему мнению, они являются следствием обезуглероживания поверхности); питтинг — точечные углубления до 0,5—0,6 мм, называемые также темными пятнами, на отливках из высоколегированных сталей.

Оболочка должна обладать химической стойкостью, исключающей образование отмеченных дефектов отливок.

6.5. ФОРМИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК

Формирование оболочек включает: приготовление связующего и суспензии, смачивание ею блоков моделей, обсыпку блоков зернистым огнеупором, сушку оболочек.

Приготовление связующего раствора. Связующее получают гидролизом ЭТС, для чего вводят воду. Гидролиз — это процесс замещения содержащихся в ЭТС этоксильных групп (C_2H_5O) гидроксильными (ОН), содержащимися в воде. Гидролиз сопровождается поликонденсацией [83, 100].

Поликонденсация — объединение одинаковых или различных молекул в одну с образованием полимеров и выделением простейшего вещества, например воды, которая опять может вступать в реакцию гидролиза.

Полимеризация — объединение молекул, но в отличие от поликонденсации не сопровождается выделением простейшего вещества.

Группы C_2H_5O и ОН в молекулах ЭТС и связующих растворах называют функциональными. Первые могут быть замещены группами ОН, а вторые могут объединяться с образованием воды и новых соединений. Известно, что для протекания гидролиза и поликонденсации каждая молекула должна иметь не менее двух функциональных групп. При изучении связующих из ЭТС введены понятия: степень гидролиза, представляющая собой отношение количества замещенных этоксильных групп C_2H_5O , выраженного в процентах, к общему процентному содержанию их в ЭТС и отношение массы воды, необходимой для гидролиза, к массе этоксильных групп ЭТС. ЭТС и вода не растворяются друг в друге, при смешивании они расслаиваются и гидролиз может протекать только на поверхности раздела жидкостей при большом местном избытке воды. Образующиеся в результате гидролиза кремниевые кислоты, будучи совершенно нестойкими в водно-спиртовой среде, быстро коагулируют, образуя осадок (помутнение) или студень.

ЭТС и вода, а также продукты гидролиза хорошо растворяются в спиртах и ацетоне. Поэтому гидролиз ЭТС для получения связу-

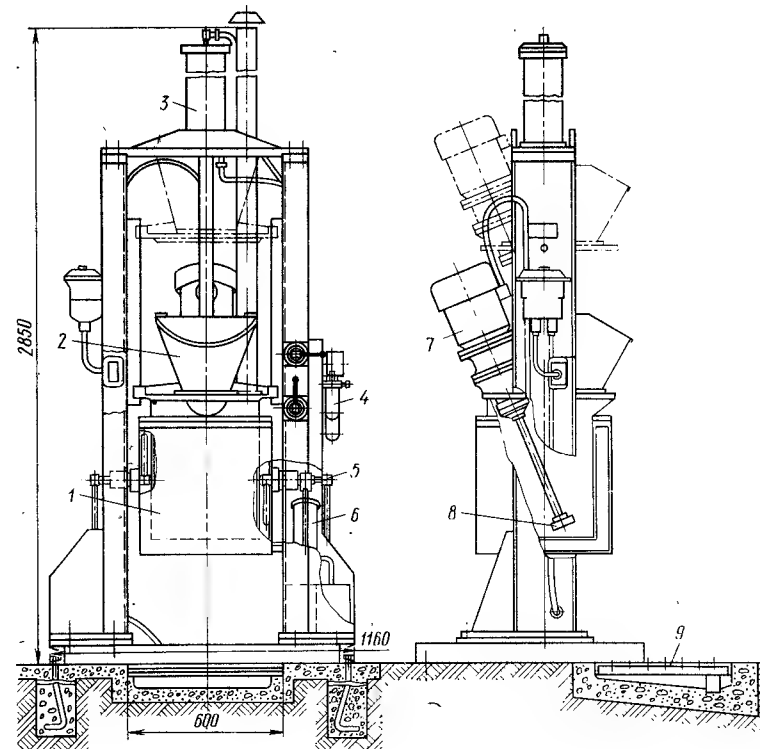


Рис. 6.20. Схема гидролизера и смесителя для суспензии:

1 — бак; 2 — лоток для пылевидного материала; 3 — пневмоцилиндр; 4 — пусковое устройство; 5 — край включения гидрораспределителя; 6 — гидрораспределитель поворота бака; 7 — электродвигатель; 8 — крыльчатка; 9 — решетка пола

щих растворов проводят подкисленным раствором воды в спирте или ацетоне. В этом случае реакции гидролиза и поликонденсации идут во всем объеме смеси, продукты их растворяются в растворителе, выполняющем также роль разбавителя ЭТС, количество которого берут в зависимости от нужного содержания условного SiO_2 в связующем (например, 16 %). Однако в последние годы вода служит заменителем спирта или ацетона в суспензиях благодаря совмещенному способу гидролиза.

Для интенсификации гидролиза применяют катализатор — соляную кислоту.

Связующие растворы обычно готовят в смесителях конструкции НИИТАвтопром с частотой вращения крыльчатки 2800 об/мин (рис. 6.20). В таком смесителе или подобных ему готовят также суспензии.

Растворы ЭТС можно разделить на три группы: органические, водно-спиртовые и водно-спиртовые с упрочняющими добавками (табл. 6.18).

Таблица 6.18

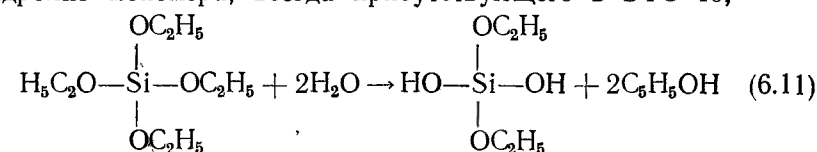
Классификация связующих растворов ЭТС

Тип связующих растворов	РР	Способ приготовления	$m \equiv \text{H}_2\text{O}/\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$	SiO_2 из ЭТС, % по массе	Добавки к жидкости, % по массе	Состояние
Орг-1	Спирт, ацетон или их смесь	Раздельный	0,25—0,35	22—16	Антииспаритель	Истинный раствор полиэтоксисиланов
Орг-2	То же	Совмещенный	0,56—0,7	15—16	до 1,2	Смесь истинных растворов полиэтоксисиланов и коллоидных растворов
Орг-3	»	То же	~1	16—14		Преимущественно коллоидные системы
ВС-1	Вода	Раздельный	0,65—0,7	16—14	Смачиватель до 0,25	Смесь золь SiO_2 и полиэтоксисилоксанов
ВС-2	»	Совмещенный	—	18—20		
ВС-3	»	То же	—	12—6		
ВС-1-К	Вода	Совмещенный	По расчету	12—8	Смачиватель до 0,1	—
ВС-2-ф	»	То же		14—9		
ВС-3-фк	»	»		9—6		
ВС-4-ажф	»	»		10—8		
ВС-5-ахф	»	»		10—8		

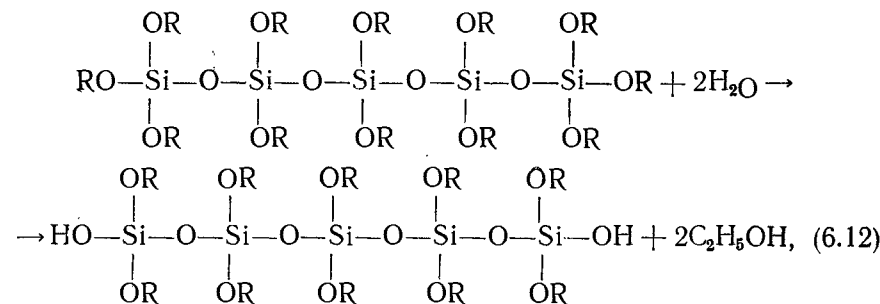
Органические связующие растворы получают введением органических РР (спирта, ацетона или их смесей); водно-спиртовые растворы получают введением воды в качестве разбавителя; спирт выделяется при гидролизе ЭТС. Водно-спиртовые растворы с упрочняющими добавками характеризуются малым содержанием условного SiO_2 , вводимого с ЭТС.

Растворы типа орг-1 ($m = 0,25 \div 0,35$). Количество воды (X), соляной кислоты (К) и РР рассчитывают на 1 кг ЭТС для получения требуемого условного содержания SiO_2 в связующем (например 18 %). Делят РР (примерно) на две равные части и одной частью разбавляют ЭТС, а другой — подкисленную воду. Затем их вливают в бак работающего гидролизера. Температура смеси повышается, так как реакция гидролиза экзотермическая. Бак гидролизера выполняется охлаждаемым и температуру раствора поддерживают обычно в пределах 43—47 °С. Когда температура начинает снижаться, перемешивание прекращают. При перемешивании протекают процессы, которые можно представить так:

гидролиз мономера, всегда присутствующего в ЭТС 40,

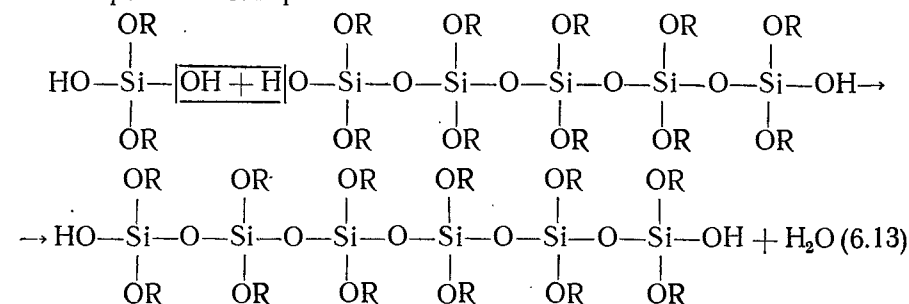


гидролиз пентамера

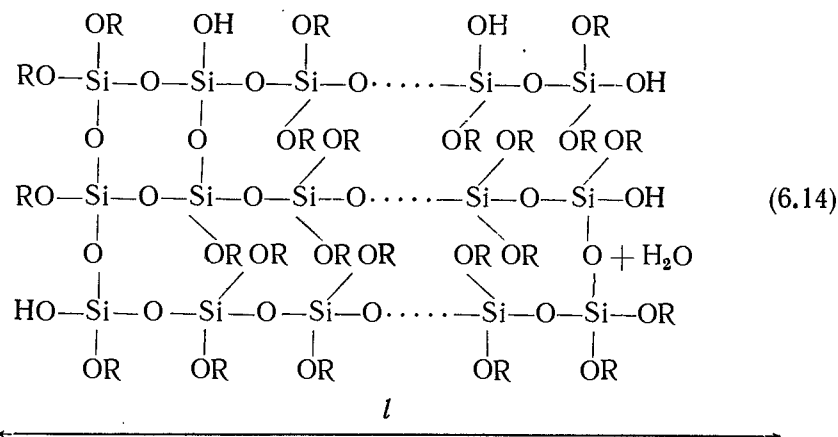


где R — радикал C_2H_5 .

Поликонденсация — объединение молекул, образовавшихся из мономера и пентамера



Выделившаяся вода может гидролизовать любую из этоксильных групп, но для этого необходимо, чтобы молекулы имели не менее двух реакционно способных групп. После гидролиза происходит поликонденсация и так до образования крупных длинных молекул полиэтоксисиланов со сшитой разветвленной или сетчатопространственной структурой. Одна из возможных схем образования полиэтоксисилана



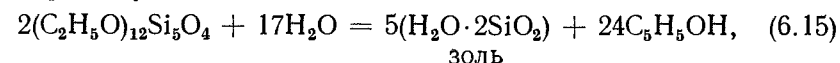
Суспензии со связующим раствором типа орг-1 хорошо смачивают поверхность моделей, так как спирт и ацетон — это низкомолекулярные ПАВ.

Вязкость растворов типа орг-1 практически не изменяется при хранении в течение года и более. Они растворимы в полярных (спирте, ацетоне) и неполярных (бензине, уайт-спирите) РР. Пленки сохнут на воздухе медленно, без трещин и обратимо, т. е. при смачивании РР они набухают и вновь растворяются. Так ведет себя и оболочка. Такие соединения в оболочках легко гидролизуются влажным аммиаком с образованием геля кремниевой кислоты. При этом после сушки оболочек пленки в них твердеют необратимо, это свойство используют для химического отверждения. Растворы типа орг-1 получили применение при изготовлении отливок из специальных сплавов.

К растворам типа орг-1 относят также связующие из ЭТС 50, предложенные впервые И. Н. Кривенко, В. А. Озеровым и А. С. Муркиной. Эти связующие, так же как и растворы типа орг-1, в процессе сушки слоя отверждаются под воздействием влажного аммиака с образованием оболочки высокой прочности. В соответствии с классификацией связующих растворы ЭТС 50 могут быть органическими орг-1-50 и водно-спиртовыми ВС-2-50. Первые только разбавляют этиловым спиртом до необходимого содержания двуокиси кремния в связующем. Всегда необходимо аммиачное отверждение оболочки на блоках моделей в заключительной стадии сушки. Вторые — это водно-эмульсионные связующие, в которых вода с добавками ПАВ заменяет органический РР [113]. Оболочки высыхают медленнее

и для их необратимого отверждения необходимы влажные пары аммиака.

Растворы типа орг-2 ($m = 0,56 \div 0,7$) (см. табл. 6.18). В разбавленный ЭТС органическим РР вводят подкисленную воду и активно перемешивают. Ранее предполагали, что ЭТС 40 представляет собой пентамер, тогда конечный результат гидролиза в спиртовой среде будет:



т. е. получают золи поликремниевой кислоты, растворенные в спирте или спирто-ацетоновой смеси.

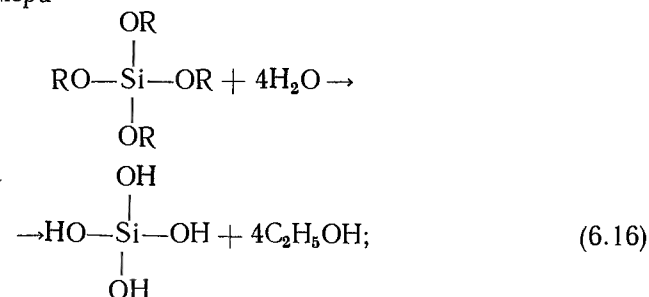
Однако многочисленные анализы не подтвердили правильность правой части уравнения. Связующие растворы всегда содержат этоксильные группы, что можно объяснить следующим. После введения ЭТС в подкисленную водно-спиртовую смесь в ее объеме всегда имеются микрообъемы как с дефицитом, так и с избытком воды для гидролиза. Там, где воды мало, протекают реакции гидролиза и поликонденсации по схеме с образованием полиэтоксисиланов [см. формулу (6.14)], а где избыток воды — реакции с образованием золой. В результате связующее представляет собой смесь двух различных по природе растворов полиэтоксисиланов и золой двуокиси кремния (присутствие золой подтверждает эффект Тиндаля [97]).

Раствор можно разбавить только спиртом, ацетоном или водой; вязкость его при хранении медленно повышается и через 4—6 мес наступает желатинирование, а затем превращение в гель. Процесс протекает тем быстрее, чем больше содержание двуокиси кремния и соляной кислоты в связующем.

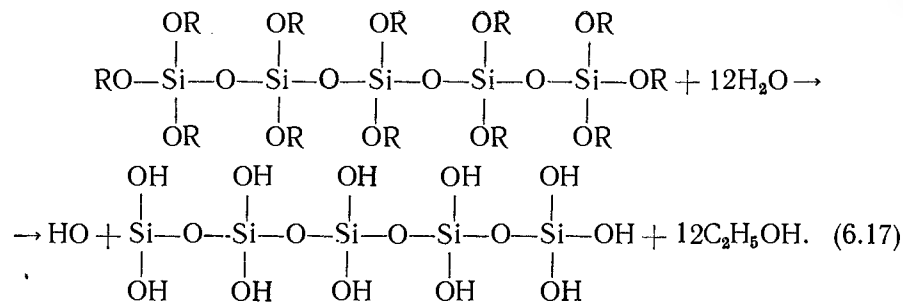
Оболочки высыхают и твердеют на воздухе необратимо, но при их сушке необходима повышенная влажность воздуха (до 80 %), чтобы в объеме оболочек завершились процессы гидролиза и поликонденсации кремнеорганических полиэтоксисиланов связующего. Прочность оболочковых форм с растворами орг-2 ниже, чем с растворами типа орг-1.

Растворы типа орг-3 ($m \approx 1$). Их получают после разбавления спиртом или ацетоном ЭТС, введения подкисленной воды и активного их смешивания. При этом протекают процессы, которые можно представить схематически:

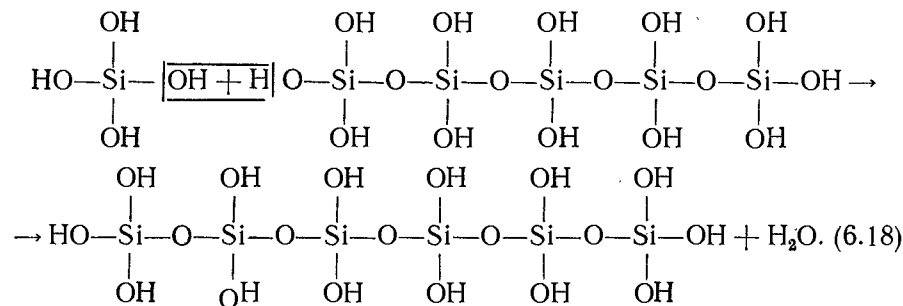
гидролиз мономера



гидролиз пентамера



поликонденсация



Поликонденсация может протекать в направлении удлинения, разветвления и образования циклов кремнекислородных цепей. Но наиболее вероятно, как утверждает Б. В. Алексеевский, происходит образование циклических молекул (6.19), а затем мицелл (рис. 6.21)

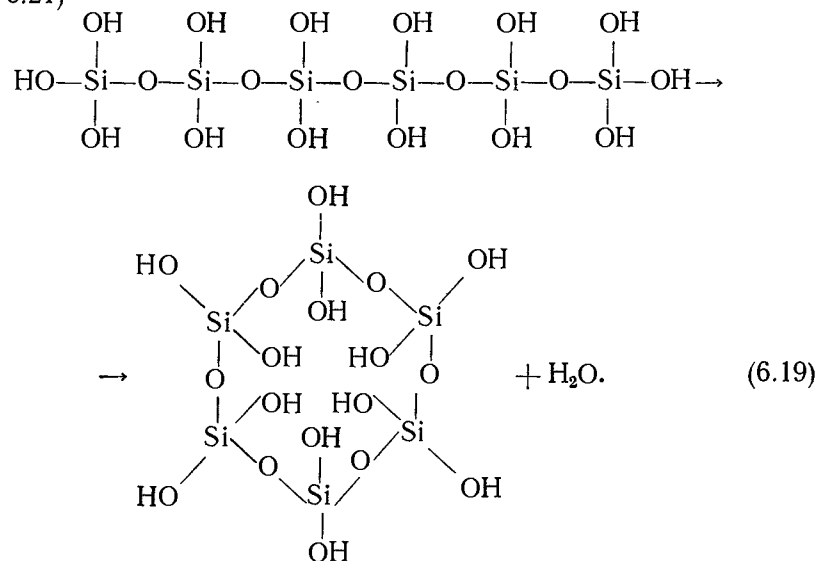
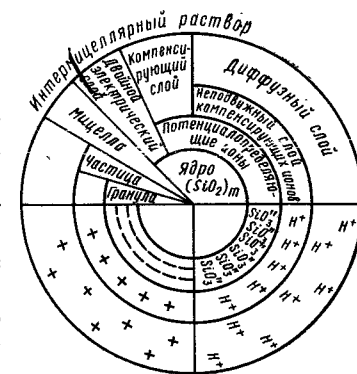


Рис. 6.21. Схема строения мицеллы двуокиси кремния в водно-спиртовой среде



Рост молекул поликремниевой кислоты в спирто-водной среде сопровождается увеличением вязкости раствора и изменением оптических его свойств, например, появляется эффект Тиндаля [97]. Образуется силиказоль, который желатинируется во всем объеме вследствие агрегирования частиц, а при высушивании и прокаливании превращается в гель. Аналогично ведут себя водно-спиртовые растворы (см. табл. 6.27), в которых спирт или ацетон заменены водой. Различие состоит только в более низкой стойкости растворов и суспензий с ними, если суспензии приготовлены не совмещенным способом.

Согласно формуле (6.19), частицы кремнезоля образуют замкнутые соединения, так как нет причин для роста их в одном преимущественном направлении. Вследствие последнего обстоятельства частицы золя, а затем геля принимают форму, близкую к форме шара с наименьшей поверхностной энергией при наибольшей массе. Каждая частица золя плотно упакована. Это подтверждается тем, что при высушивании его пленка существенно не сжимается. Образующийся чистый силикагель не склонен к кристаллизации даже при нагреве до 1100 °C в течение трех суток, а упаковка атомов в геле близка к упаковке их в кварцевом стекле (см. рис. 6.5, б).

Но введение в водно-спиртовые связующие на стадии гидролиза ЭТС одной из растворимых солей Fe, Cr, Mg, Ca снижает температуру кристаллизации геля SiO₂ до 850—940 °C. При прокаливании образцов в течение 3—4 ч прочность их повышается на 16—24 %. Для этого достаточно ввести в связующее одну из добавок: 0,5—0,8 % Fe; 1,2—1,6 % Cr; 1,0—1,3 % Mg; 1,0—1,3 % Ca [95].

Из формулы (6.19) видно, что стехиометрически все этоксильные группы ЭТС замещены гидроксильными. В действительности степень гидролиза всегда меньше 100 %, т. е. в состав мицелл входят и этоксильные группы.

Свойства растворов этого типа и суспензий с ними существенно отличаются от свойств растворов типа орг-1: вязкость их быстро повышается; в герметически закрытом сосуде они желатинизируют, затем через 5—10 сут твердеют и чем больше концентрация двуокиси кремния и хлорводорода в них, тем быстрее идут эти процессы. Оболочки высыхают необратимо в течение 2—4 ч и этот процесс завершается тем быстрее, чем суше воздух. Прочность образцов оболочек примерно в 2 раза ниже, а газопроницаемость на 20—25 % выше, чем оболочек с растворами типа орг-1, что объясняют сохранением шаровидной формы геля SiO₂ после сушки и прокаливании

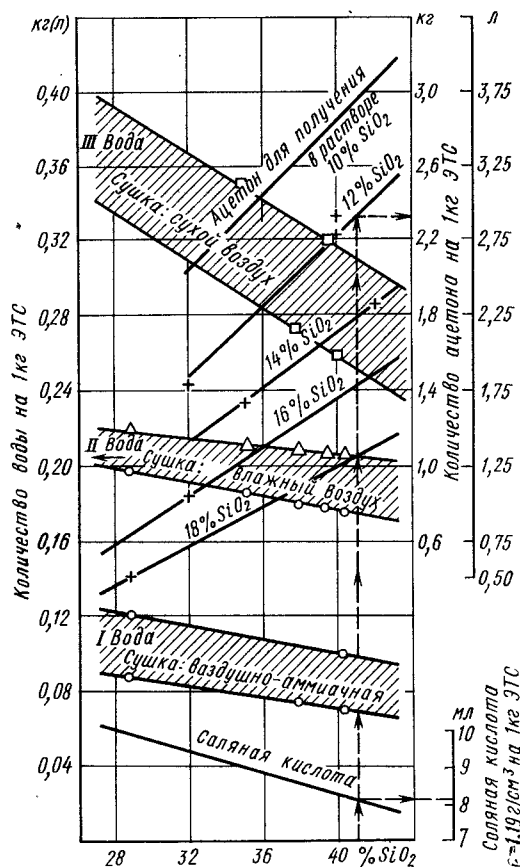


Рис. 6.22. Номограмма определения количества спирта (ацетона), воды и соляной кислоты для получения связующего из 1 кг ЭТС

оболочки в отличие от геля, образовавшегося из растворов типа орг-1. Последний после сушки, аммиачной обработки и прокаливании оболочек имеет форму, похожую на нити, т. е. близкую к форме молекул в исходном связующем растворе. Различием структур связующих гелей SiO_2 можно, по нашему мнению, объяснить тот факт, что растворы типа орг-1 сообщают оболочкам наибольшую прочность, а растворы типа орг-3 наименьшую.

Расчет количества составляющих для получения связующих растворов из ЭТС можно вести двумя методами: по номограмме (рис. 6.22) и по формулам (см. ниже). Рассчитывают составляющие для получения связующего раствора из 1 кг ЭТС:

вода — X , кг (л), растворитель-разбавитель — PP , кг(л), соляная кислота — K , мл.

Исходные данные для расчета: способ сушки; необходимая прочность оболочки; фактический состав ЭТС по паспорту (или по данным анализа); содержание SiO_2 , этоксильных групп и HCl (% по массе).

Величину $m = \text{H}_2\text{O}/(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})$ принимают в зависимости от способа сушки: при воздушно-аммиачной сушке $m = 0,25 \div 0,35$, если оболочки будут сушить во влажном воздухе $m = 0,6 \div 0,7$, при сушке оболочек сухим воздухом $m \approx 1$.

Количество воды X для получения связующего раствора из 1 кг ЭТС определяют двумя способами: по номограмме (см. рис. 6.22) или по формуле (6.20).

При определении X по номограмме (см. рис. 6.22) на оси абсцисс находят точку, соответствующую содержанию двуоксида кремния в ЭТС и от нее проводят вертикальную линию до пересечения с необходимой областью «Вода» (в зависимости от требуемого типа раствора).

Из точки в выбранной области «Вода» проводят горизонталь до пересечения с левой вертикальной осью, на которой указано необходимое количество воды. Область I соответствует растворам типа орг-1, область II — орг-2, область III — орг-3.

Для расчета по второму способу * используют формулу

$$X = 0,004am, \quad (6.20)$$

где a — содержание этоксильных групп в ЭТС, % по массе; m — количество молей воды на одну этоксильную группу.

Количество PP определяют из условия получения в готовом растворе заданного количества двуоксида кремния. Расчет PP по номограмме: на горизонтальной оси SiO_2 в ЭТС находят точку, отвечающую содержанию ее в данной партии ЭТС, и от нее проводят вертикальную линию до пересечения с одной из линий «Растворитель». Из точки пересечения проводят горизонталь до правой вертикальной оси, на которой обозначено требуемое количество PP (ацетона).

Расчет PP ведут по формуле

$$PP = (\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}} / (\text{SiO}_2)_{\text{связ}} - (1 + X), \quad (6.21)$$

где $(\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}}$ — содержание SiO_2 в ЭТС, %; $(\text{SiO}_2)_{\text{связ}}$ — содержание SiO_2 в связующем растворе, %; X — количество воды, полученное расчетом, кг.

Определив необходимое количество PP , следует учесть содержание в нем воды и скорректировать количество воды для гидролиза ЭТС. PP , как правило, дозируют в литрах. Поэтому рассчитанное в килограммах количество PP делят на его плотность.

Определение K по номограмме: от точки пересечения вертикальной линии, по которой определили необходимое количество воды, с линией «Соляная кислота» проводят вправо горизонталь. Точка пересечения с вертикальной осью справа дает ответ о количестве (мл) соляной кислоты плотностью 1190 кг/м^3 .

K определяют по формуле

$$K = 0,114a. \quad (6.22)$$

Приготовление суспензии. Суспензии для оболочковых форм — это взвесь твердых различной величины окатанных частиц огнеупорной основы в жидкости **.

Твердые составляющие видны под оптическим микроскопом, так как размеры их наименьших частиц всегда больше 10^{-4} см . Последнее отличает их от коллоидов, размеры которых всегда меньше 10^{-4} см , хотя суспензии, как и коллоиды, имеют поверхность раздела между твердыми частицами и жидкой составляющей. Жидкая составляющая суспензии представляет собой связующий раствор.

Суспензия должна обладать комплексом свойств: седиментационной устойчивостью, смачиваемостью поверхности моделей и оболочек, быть живучей.

* Способ расчета предложен В. А. Озеровым и Б. Б. Шприцем.

** Жидкость — термин условный, так как она в соответствии с классификацией [97] имеет поверхность раздела.

Седиментационная устойчивость — это свойство суспензии не расслаиваться. Чем дисперснее и меньше плотность твердой составляющей и выше (в определенных пределах) вязкость жидкой, тем более устойчива суспензия. Добавками и непрерывным медленным перемешиванием суспензии поддерживают равномерность ее зернового состава по высоте ванны.

Смачивание поверхности блоков моделей особенно важно при формировании первого облицовочного слоя, так как при этом образуется контактный слой оболочки. Водно-спиртовые суспензии плохо смачивают модели, поэтому в них вводят смачиватели (ПАВ).

Живучесть — продолжительность жизни суспензии, т. е. сохранение технологической вязкости до начала ее желатинизации. При снижении температуры, как известно, замедляются все реакции, в том числе и коагуляция связующих в суспензиях. Особое значение имеет температура этилсиликатных суспензий, в которых органический растворитель заменен водой. В целях увеличения продолжительности жизни суспензий температуру их поддерживают в пределах 10—12 °С обычно путем непрерывного водяного охлаждения емкости с суспензией.

Важно также понижение температуры суспензии со связующим типа орг-1 и пылевидным магнезитом, так как жидкая составляющая имеет кислую реакцию, а пылевидная — основную. Чем ниже температура, тем медленнее загустевает суспензия.

Классификация суспензий приведена в табл. 6.19. Известны два способа приготовления суспензий: отдельный и совмещенный.

При отдельном способе пылевидную составляющую замешивают в готовое связующее. Совмещенный способ, предложенный М. Н. Ефимовым и З. А. Анчеевой, заключается в том, что получение связующих совмещено с приготовлением суспензии. Суспензии со связующими типов орг-2 и орг-3 готовят преимущественно этим способом; в результате прочность оболочковых форм увеличивается в 1,3—1,5 раза, упрощается приготовление суспензий. Позднее В. Н. Иванов и Г. М. Зарецкая применили воду вместо органических растворителей при обязательном совмещении процессов получения суспензий и связующих из ЭТС. При совмещенном способе гидролиз и поликонденсация образующихся мицелл протекают на весьма развитой поверхности пылевидных зерен огнеупорной основы, которая по аналогии с кристаллизацией расплавов служит своеобразной подложкой с готовыми центрами.

Чаще всего коллоидные растворы получают методами конденсации как более выгодными энергетически, так как процесс конденсации проходит с уменьшением удельной поверхности, что связано с убыванием свободной энергии системы. В нашем случае золь получают в результате реакций гидролиза и поликонденсации.

Выделяющаяся в результате гидролиза частица может или стать центром кристаллизации, или быть израсходованной на рост уже имеющихся мицелл.

Если превалирует рост уже образовавшихся зародышей, как это было при попытках отдельно получить связующие с водой, то

Таблица 6.19

Классификация суспензий со связующим из ЭТС

Тип раствора связующего	Растворитель	SiO ₂ из этилсиликата, % по массе	Добавка	Твердая составляющая суспензии	Живучесть, сут.	σ _и , МПа при 900 °С
Орг-1	Спирт этиловый, ацетон или их смесь	12—20	Антииспаритель	Электрокорунд Кристаллический кварц	≈ 30 ≈ 30	12—14 6—8
Орг-2	То же	9—12 18—22 12—18	То же » »	НКС Электрокорунд Кристаллический кварц	3—2 12—10 12—10	9—11 12—16 10—12
Орг-3	»	14—16	»	То же	6—4	6—8
BC-1	Вода	14—16	Без добавок	Кристаллический кварц	6—4	8—10
BC-2	»	9—12 12—20	Смачиватель Смачиватель	НКС Кристаллический кварц	6—4 7—5	10—12 12—13
BC-1-К	Вода	8—10	Кремнезоль	Кристаллический кварц	—	8—10
BC-2-Ф	»	9—14	Фосфорная кислота	То же	7—5	12—14
BC-3-ФК	»	6—9	Фосфорная кислота и кремнезоль	»	7—5	—
BC-4-АЖФ	»	8—10	Алюможелезофосфат	»	—	—
BC-5-АХФ	»	8—10	Алюмохромфосфат	»	—	—

Примечание. НКС следует применять со всеми связующими; pH растворов поддерживают равным 1,5—2; готовят суспензии орг-1 отдельным, а остальные совмещенным способом; условную вязкость суспензий по воронке ВЗ-4 для первого и последующих слоев подбирают в зависимости от применяемой суспензии.

выделяющаяся в результате реакции молекула расходуется на укрупнение уже имеющихся частиц. Золь при этом состоит из частиц крупных размеров; последние вырастают даже до размеров, превышающих коллоидные, тогда получается мутный с осадком раствор.

Если скорость образования новых центров (гидролиз) больше скорости роста уже имеющихся (поликонденсация), то продукты реакции гидролиза расходуются на рост большего количества мелких частиц. При этом на каждую растущую частицу приходится меньшая доля материала, что и обуславливает большую дисперсность связующего раствора, обволакивающего каждое пылевидное зерно суспензии. Чем быстрее идет реакция гидролиза, тем больше

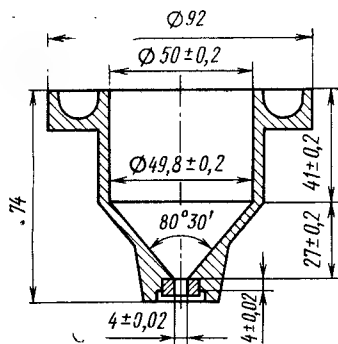


Рис. 6.23. Воронка ВЗ-4 для определения условной вязкости суспензий в секундах

вероятность того, что некоторые образующиеся молекулы станут центрами новых мицелл, т. е. тем больше вероятность получения тонкодисперсного с низкой вязкостью раствора в суспензии. При совмещенном способе свойства суспензий без органических разбавителей (без добавок и с добавками) и образцов оболочковых форм близки к свойствам суспензий, получаемых с растворами типа орг-3,

но применение воды вместо органических растворителей дает возможность снизить пожаро- и взрывоопасность в производственных помещениях и меньше загрязнять воздух парами растворителей.

Суспензии со связующим орг-1 готовят отдельным способом. В связующее замешивают пылевидную составляющую, перемешивают 40—60 мин и через 20—30 мин измеряют условную вязкость с помощью воронки ВЗ-4 (рис. 6.23). Активное и длительное перемешивание необходимо для дезагрегирования пылевидной составляющей и смачивания связующим пылевидной частицы. За 5—7 мин до окончания перемешивания вводят антииспаритель. При частоте вращения крыльчатки смесителя 2800 об/мин за 40—60 мин готовят суспензию. Прочность оболочки из нее в 1,5—2 раза выше прочности оболочки из суспензии, полученной ручным перемешиванием. Вследствие активного перемешивания понижается вязкость суспензий, поэтому необходимо вводить больше пылевидной составляющей. На пылевидных зернах образуются тонкие пленки связующего и достигается плотная укладка зерен в слоях, наносимых на модели.

Для приготовления ВС-1 в подкисленную воду, полученную расчетом при $m = 0,7 \div 0,8$, при активном перемешивании вливают ЭТС, в результате образуется эмульсия. Получение связующего состоит из трех стадий: гетерогенной, гомогенной и разбавления. В период гетерогенной стадии гидролиз протекает на поверхности капелек ЭТС при избытке воды — образуются спирт и кремниевые кислоты. С увеличением выделяющегося спирта система переходит в гомогенную стадию, при которой процессы гидролиза и поликонденсации протекают во всем объеме. В результате образуется смесь, состоящая из золь двуокиси кремния и полиэтоксисиланов при содержании 32—34 % SiO_2 . Этот концентрированный вязкий раствор быстро густеет и желатинизирует. Поэтому в одном случае его при перемешивании немедленно разбавляют водой до содержания 12—16 % SiO_2 и затем замешивают пылевидную составляющую; в другом случае раствор немедленно при перемешивании вливают в шликер

(смесь воды с пылевидной составляющей) и продолжают готовить суспензию.

Суспензии ВС-2 и ВС-3 готовят совмещенным способом. В воду, подкисленную соляной кислотой, вводят 0,2—0,25 % ПАВ. Эту воду заливают в работающий смеситель, насыпают пылевидную составляющую и после кратковременного перемешивания вливают ЭТС, продолжая перемешивание еще 50—60 мин. Температуру приготавливаемой суспензии поддерживают не выше 35 °С.

Все суспензии ВС плохо смачивают воскообразные модели вследствие высокого поверхностного натяжения воды. Для смачивания моделей в воду вводят ПАВ — смачиватель, который должен растворяться в воде, обеспечивать хорошее смачивание, не образовывать пену, не сгущать суспензии, т. е. не вызывать агрегацию частиц связующего и пылевидной составляющей, повышать живучесть суспензий, не снижать прочность оболочек. Перечисленным требованиям наиболее полно отвечают анионоактивные ПАВ, например метапон, сульфанол, ДНС, авиоль. Их вводят по 0,05—0,22 % массы пылевидной составляющей суспензии [103].

Сравнительно низкая живучесть суспензий и стремление снизить расход ЭТС послужили причиной изыскания добавок, увеличивающих прочность оболочек (см. табл. 6.19).

Суспензию ВС-1-К готовят с использованием кремнезоля, например Syton X-30 [27]. Последний разбавляют водой до содержания в растворе 2,5—5 % SiO_2 и вливают в смеситель. Затем при перемешивании вводят соляную кислоту до $\text{pH} = 1 \div 2$, которая не только нейтрализует стабилизатор золя (например, NaOH), но и перезаряжает его. В кислый золь насыпают пылевидную составляющую суспензии и после кратковременного перемешивания вливают ЭТС в таком количестве, чтобы в жидкой составляющей было 8—10 % SiO_2 из ЭТС. Перемешивают 40—60 мин. За это время протекают реакции гидролиза и поликонденсации. Но они проходят на поверхности смоченных золем зерен пылевидной составляющей.

Этот способ получения суспензии основан на образовании из ЭТС частиц золь малых размеров на полидисперсных зернах твердой составляющей суспензии. Активизированные частицы кремнезоля имеют химическое сродство к ЭТС. Поверхность пылевидных частиц становится окруженной тонкой пленкой коллоидной двуокиси кремния. За 3—5 мин до окончания перемешивания вводят ПАВ. При введении 2,5 % SiO_2 с кремнезolem и 6—10 % SiO_2 с ЭТС прочность оболочек $\sigma_k = 5 \div 6$ МПа. Отметим, что если применять как самостоятельное связующее кремнезоль, содержащий 2—5 % SiO_2 , оболочка практически не будет обладать прочностью.

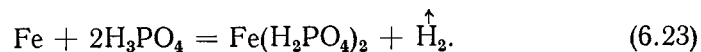
Суспензии ВС-1-К наиболее пригодны для получения контактного (облицовочного) слоя оболочковых форм, а остальные слои следует изготавливать с суспензиями этой же группы, но с добавками фосфатов.

Использование кремнезоля позволяет снизить расход ЭТС 40 примерно в 2 раза и не применять органические растворители.

Суспензии ВС-2-Ф [57] готовят с применением связующего ЗИЛ ЭФ (Э — ЭТС; Ф — фосфорная кислота, образующая фосфат с намотым железом из пылевидной составляющей). В суспензии ВС-2-Ф однозамещенные фосфаты железа, например $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, служат дополнительным связующим.

Отметим, что только при некотором избытке свободной кислоты H_3PO_4 примерно на 10—15 % по массе или в подкисленной HCl среде — в водном растворе — могут образоваться и существовать длительное время растворимые в воде однозамещенные фосфаты.

Необходимое количество фосфорной кислоты рассчитывают по стехиометрическому уравнению, например



При приготовлении связующего из ЭТС с фосфатами в бак быстрого смесителя вливают подкисленную воду, ПАВ, фосфорную кислоту и всыпают 2/3 необходимого количества пылевидного кварца, а затем постепенно вливают ЭТС. Кроме того для получения необходимой вязкости суспензии вводят оставшийся пылевидный материал и перемешивают в течение 50—60 мин.

Из уравнения (6.23) видно, что вследствие взаимодействия фосфорной кислоты с железом выделяется водород, на поверхности пузырьков которого адсорбируется ПАВ, но за 60 мин перемешивания пузырьки его успевают выйти из объема суспензии.

Таким образом, связующее этой суспензии — комплекс из золя двуокиси кремния и однозамещенного фосфата железа в водно-спиртовой среде. Длительная живучесть этих суспензий (5—7 сут) объясняется тем, что связующие растворы содержат мало золя двуокиси кремния (см. табл. 6.19); фосфаты выполняют роль буферов, стабилизирующих pH суспензий в пределах 2—2,5. При прокаливании оболочек до 800—900 °C в их пленках наряду с гелем двуокиси кремния образуется метафосфат железа $[\text{Fe}(\text{PO}_3)_2]_n$ с длинной цепью. Кроме того, возможно образование метафосфата кремния с гелем двуокиси кремния, а также метафосфатов из примесей Ca и др. Этим можно объяснить сравнительно высокие прочности (12—15 МПа) образцов при 900 °C.

Приготовление суспензий ВС-3-ФК основано на сочетании двух предыдущих способов: перезарядке частиц кремнезоля в подкисленной воде, образовании золя SiO_2 из ЭТС и получении однозамещенных фосфатов железа из примесей пылевидной составляющей. При этом содержание 2,5—6 % SiO_2 из кремнезоля, а 9—6 % SiO_2 из ЭТС; фосфатов железа — согласно расчету. Живучесть суспензий 7—5 сут. Прочность образцов оболочек 5—6 МПа до выплавления. Образцы с ЭТС 32 показали прочность на 30—40 % ниже, чем с ЭТС 40. В работе [27] отмечено, что свойства комплексного связующего не являются аддитивным сложением связующих свойств SiO_2 этилсиликата и золя в растворе. Резкое увеличение прочности наблюдали при использовании суспензий, в которых с кремнезolem вводили 3—7 % SiO_2 , а общее содержание SiO_2 составляло до 15 %.

Суспензии ВС-4-АЖФ и ВС-5-АХФ отличаются от суспензий ВС-2-Ф тем, в них вводят готовые фосфаты.

Смачивание блоков моделей суспензией. Различают смачивание для формирования первого (контактного) слоя оболочки и ее последующих слоев. В обоих случаях блок медленно погружают в суспензию, поворачивая его в различных направлениях.

При нанесении первого слоя суспензия удаляет с поверхности моделей адсорбированный воздух и смачивает поверхность блока. Смачивать суспензией модели можно только после полного завершения процессов их усадки. При нанесении последующих слоев оболочка впитывает жидкую составляющую суспензии, вследствие чего последняя постепенно густеет, повышается ее вязкость. Повышение вязкости связано также с испарением органических растворителей даже при добавке в суспензию антииспарителя. Вязкость суспензии поддерживают в определенных пределах постоянным добавлением в нее разбавленного раствора, степень разбавления которого устанавливают опытным путем.

Последний слой оболочки наносят без последующей обсыпки зернистым материалом [17]. Такой прием несколько повышает общую прочность оболочки и предотвращает осыпание поверхностных зерен при выплавлении моделей. При извлечении смоченного блока из суспензии его поворачивают в различные направления с такой скоростью, чтобы успел стечь излишек суспензии и она равномерным слоем покрывала поверхность моделей. Далее на слой суспензии немедленно наносят зернистый обсыпочный материал.

Обсыпка блоков зернистым огнеупором. Известны два способа обсыпки и соответственно два типа пескосыпов.

1. Создают «дождь» из зернистого материала в барабанных или элеваторных пескосыпах; падающие зерна обсыпки равномерно внедряются в толщу слоя суспензии (рис. 6.24, а).

2. Создают псевдоожиженный слой зерен обсыпки, пропуская сжатый воздух снизу через пористую перегородку, и в слой находящийся во взвешенном состоянии зерен погружают блок на несколько секунд (рис. 6.24, б). При этом зерна прилипают к суспензии.

Первому способу следует отдать предпочтение вследствие образования равномерной оболочки большей толщины при меньшей энергоемкости процесса. При втором же способе верхний слой обсыпки в пескосыпе всегда обогащен более мелкими зернами.

Сушка оболочек. Сушка — обобщающее понятие. Во время сушки протекают процессы собственно сушки, диффузии, гидrolитической поликонденсации, коагуляции, усадки, образования капилляров.

С о б с т в е н н о с у ш к а — это перемещение влаги в сторону меньшей влажности и испарение ее с поверхности оболочки. С повышением температуры кипения растворителя продолжительность сушки увеличивается в такой последовательности: ацетон, этиловый спирт, изопропиловый спирт, спирто-водная смесь, водно-спиртовая смесь, вода. Это следует учитывать при выборе режима сушки.

Д и ф ф у з и я. Жидкость суспензии перемещается к свободной поверхности оболочки, т. е. в сторону, где меньше ее концентрация.

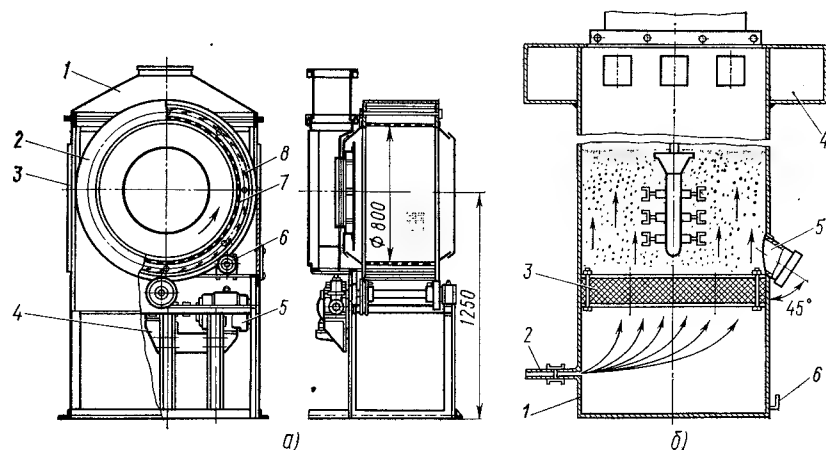


Рис. 6.24. Схемы пескосыпов:

а — барабанного; 1 — зонт вытяжной; 2 — барабан; 3 — каркас; 4 — редуктор; 5 — электродвигатель; 6 — ролик; 7 — сетка; 8 — лопатка; 9 — псевдооживленного слоя зернистого материала; 10 — цилиндр; 11 — трубка подачи воздуха; 12 — войлок; 13 — вентиляция; 14 — патрубков для выгрузки песка; 15 — трубка к манометру

Следствие этого — выравнивание содержания связующего по толщине будущей оболочки формы. Диффузия особо наглядна при формировании двухслойных оболочек, когда только токопроводный слой содержит связующее.

Гидролитическая поликонденсация протекает под действием влаги воздуха (связующие типов орг-1 и орг-2). Но для необратимого превращения связующего типа орг-1 требуется много дней. Оболочки, даже высушенные до постоянной массы, вспучиваются и отслаиваются после смачивания их суспензией, так как зерна основы склеены полиэтоксисиланами, сохраняющими свойство растворяться.

В пленках высушенных оболочек скорость процесса гидролитической поликонденсации увеличивают в сотни раз, применяя, например, увлажненные пары аммиака — мощный катализатор этого процесса; необратимое твердение завершается за несколько минут.

Гель не растворяется, а следовательно, оболочка не разбухает и не отслаивается. При этом образовавшиеся частицы геля, как отмечено выше, имеют упорядоченное строение, чем и объясняют высокую прочность образцов оболочек со связующими типа орг-1. При поликонденсации вода вновь образует с аммиаком влажное соединение, которое удаляют при проветривании блоков после их аммиачной обработки. Проветривание обязательно. Если этого не сделать, аммиак будет вызывать коагуляцию суспензии при погружении блока для нанесения последующего слоя. Отметим, что остатки этосильных групп полиэтоксисилана не могут участвовать в процессе гидролитической поликонденсации вследствие затрудненного до-

ступа к ним влажного аммиака. Эти группы уходят из оболочек только при ее прокаливании, что подтверждается более высокой газотворностью оболочек со связующими типов орг-1 и орг-2 по сравнению с низкой газотворностью при применении водно-спиртового связующего.

В связующем типа орг-2 процесс твердения завершается за 3—4 ч при температуре 20—24 °С, атмосферном давлении и относительной влажности воздуха 60—80 %. Повышенная влажность обязательна. Ее создают искусственно — предусматривают кондиционирование воздуха или устанавливают желоба для воды, которая повышает влажность воздуха.

Коагуляция. Связующие растворы водно-спиртовые и водно-спиртовые с добавками твердеют необратимо вследствие коагуляции в результате испарения влаги, для чего необходимо пониженная влажность воздуха при сушке. Особенно уменьшается продолжительность затвердевания оболочек из суспензий ВС-2-Ф при снижении влажности воздуха и повышении его температуры (табл. 6.20).

Таблица 6.20

Применение суспензий ВС-2-Ф (ЗИЛ ЭФ) [57]

Завод	SiO ₂ из ЭТС 40, % по массе		Условия сушки слоя				Условия выплавки		σ _н , МПа, после выплавки	
	было	стало	Время, ч	t, °С	Влажность, %	Скорость воздушного потока, м/с	Среда	t, °С	было	стало
А	9	9	3,5—5	25—27	30—60	0,1—1,2	Вода	100	6—7	7—8
Б	16—20	9—10	1,5	26—28	20—30	—	Модельный состав	120—130	—	6—8
В	18	10—12	3,5	24—29	40—60	0,2—0,6	Модельный состав	120—135	6—7	6—7
Г	14	14	2,3	27—30	40—60	0,5	МВС ЗА Вода	100	5—6	5—6

Примечания. 1. На всех заводах для суспензий применяют пылевидный кварц. 2. Образцы для испытаний изготавливают одновременно с оболочками. На заводах А и Г образцы испытывают до выплавки в воде; на других — после выплавки в модельном составе.

3. До применения суспензий ВС-2-Ф в качестве растворителя использовали ацетон.

У с а д к а. В результате испарения влаги (воды, спирта) количество жидкости в слое оболочки уменьшается, а следовательно, уменьшается толщина пленок и происходит сближение зерен. Но в затвердевших пленках сближение зерен невозможно, поэтому в пленках возникают напряжения и в оболочке могут образоваться трещины.

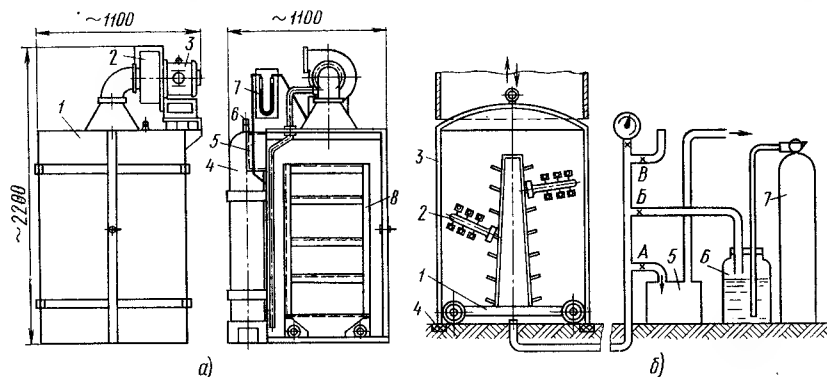


Рис. 6.25. Схемы сушилки оболочек:

а — в камерном сушилке при атмосферном давлении: 1 — шкаф; 2 — вентилятор; 3 — электродвигатель; 4 — баллон; 5 — пневмоэлектрклапан; 6 — редукционный клапан; 7 — ареомер; 8 — этажерка; 9 — тележка на резиновом ходу; б — в вакуумно-аммиачной установке: 1 — тележка на резиновом ходу; 2 — блоки; 3 — вакуум-камера; 4 — резиновое уплотнительное кольцо; 5 — вакуумный насос механический; 6 — бутылка с насыщенной аммиачной водой; 7 — баллон с редуктором

Образование капилляров. Они формируются к окончанию испарения влаги.

Рассмотренные процессы взаимосвязаны. Например, с увеличением скорости испарения растворителя увеличивается усадка пленок связующего в жидком их состоянии и уменьшается усадка затвердевших пленок. Чем скорее происходит испарение, тем качественнее получается оболочка. Можно было бы повысить температуру суши, но это приводит к трещинам в оболочке вследствие термического расширения моделей. Поэтому сушку ведут при установившейся в цехе температуре.

Понижение температуры суши замедляет испарение растворителя, снижает прочность оболочки и вызывает брак по трещинам. Кроме того, это вызывает усадку моделей, что приводит к короблению оболочки, отслаиванию ее от моделей и тоже к браку.

Сушка при атмосферном давлении. Блоки помещают в шкаф или подвешивают на цепь конвейерного сушила и непрерывно удаляют пары растворителя с помощью вентиляций. При небольших масштабах производства применяют вытяжные шкафы или камеры с выкачивающимися тележками (рис. 6.25). Этажерку 8 с блоками закатывают в камеру и пускают вентилятор. Если применяют аммиак, то через 1 ч после воздушной суши выключают вентилятор, закрывают задвижки и из баллона в течение 5 мин наполняют камеру влажным газообразным аммиаком, который пропускают через воду. После 10—20-минутной выдержки проветривают камеру в течение 10—30 мин.

В. А. Озеров и Б. Б. Шприц предложили способ пароаммиачной суши оболочек со связующими типа орг-1 при уменьшенном до 7,5—10 % SiO_2 в растворе. Одновременно сушильную камеру

наполняют паром с добавкой 0,5—0,8 % (от объема) газообразного аммиака. Оболочки затвердевают за 15—20 мин.

В массовом производстве нашли применение горизонтальные и вертикальные сушила с кондиционированием воздуха по влажности и температуре. Вертикальные сушила позволяют лучше организовать воздушный поток в камерах и занимают меньше площади.

Наиболее полно процесс испарения растворителя из оболочек форм изложен в работе [72], на основании которой рекомендованы скорости воздуха до 5 м/с в камерах суши. При большей скорости наблюдается сдувание песчинок обсыпного материала, хотя и уменьшается продолжительность суши.

Сушка в вакууме. Способ основан на известном явлении — снижении температуры испарения жидкостей с понижением давления (рис. 6.25, б).

После опускания цилиндрической камеры на резиновую прокладку в ней при закрытых вентилях Б и В создают, постепенно регулируя вентилем А, остаточное давление 2600—4000 Па. Далее закрывают вентиль А и открывают вентиль Б, в камеру через бутылку с водой вводят пары аммиака. Когда давление в камере устанавливается постоянным, закрывают вентиль Б, прекращают подачу аммиака. После выдержки 2—3 мин включают насос и откачивают аммиак до остаточного давления 2000—1300 Па. Затем выключают насос очень плавно во избежание образования трещин в оболочке, открывают вентиль В, через который заполняют камеру воздухом до атмосферного давления, после чего поднимают камеру и выкатывают тележку с блоками. Возможны другие конструктивные решения вакуумно-аммиачной суши оболочек.

В табл. 6.21 приведены сравнительные данные о способах и режимах суши.

Контроль просушенности оболочек. Свидетель-оболочку на типичной модели сушат вместе со всей партией. Для проверки просушенности его опускают в связующий раствор и, если нет набухания и отслаивания оболочки, на него наносят очередной слой.

Готовность оболочек к формированию на нем очередного слоя оценивают с водно-спиртовыми и водными суспензиями по содержанию в процентах остаточной влаги методом взвешивания. Предварительно экспериментально устанавливают допустимую наибольшую влажность, например 1,3—1,5 %.

Прочие способы отверждения. Эти способы основаны на огеливании связующих из ЭТС путем повышения их рН. Все эти способы снижают потенциальную прочность оболочек. Известные способы отверждения можно разделить на две разновидности:

после проваливания слоя оболочки и образования капилляров в ней на слой воздействуют катализатором гидролитической поликонденсации (например, газообразным аммиаком) или смачивают формируемый слой оболочки в растворах щелочей (например, в растворе аммиака); под действием указанных отвердителей золь быстро и необратимо превращается в гель;

Таблица 6.21

Режимы сушки одного слоя (кроме первого) многослойных оболочек на блоках моделей

Тип связующего раствора	Давление, МПа	Влажность воздуха, %	Скорость воздуха, м/с	Продолжительность, мин			
				удаления влаги	обработке аммиаком	протравливания	общего цикла
Орг-1	0,1 0,004—0,005	60—96	2—3 Отсасывание	60 20	30 10	20 20	100—100 45—60
Орг-2	0,1	До 80	3—5	120—150	Нет	20	120—150
Орг-3	0,1	50—60	3—5	120—150	»	20	120—150
Все типы ВС (см. табл. 6.18)	0,1	40—50	3—5	120—150	»	20	120—150

Примечания. 1. Температура сушки оболочек на блоках воскообразных моделей принята 20—24 °С. При использовании пенополистироловых моделей температура сушки может быть ~70 °С, что позволяет сократить продолжительность сушки.
2. Продолжительность сушки первого (облицовочного) слоя составляет 60—70 % указанной в таблице.

последовательно на блоки моделей наносят суспензию со связующим из ЭТС, обладающим кислыми свойствами, и после ее обсыпки блок погружают в суспензию с основными свойствами, слой которой также обсыпают зернистым материалом. В оболочке образуется гель двуокиси кремния вследствие взаимной диффузии связующих, причем связующее второго слоя повышает рН этилсиликатного раствора. Операции повторяют до образования оболочки заданной толщины.

6.6. ВЫПЛАВЛЕНИЕ (УДАЛЕНИЕ) МОДЕЛЕЙ

Торец литниковой воронки покрыт оболочкой при ее формировании, что препятствует удалению модельного состава, а в случае применения металлического стояка — извлечению его из блока моделей. Торцовый слой оболочки на воронке отрезают вращающимся тонким абразивным отрезным кругом.

Воскообразные модели выплавляют, солевые — растворяют, а пенополистироловые выжигают (табл. 6.22).

Модели удаляют из оболочек или из форм после формовки блоков. При выплавлении моделей в прочной оболочке могут образоваться трещины, если блок нагревать медленно, так как модель, прогреваясь на всю толщину, расширяется, давит на оболочку изнутри и разрывает ее. При быстром же нагреве модель оплавляется с поверхности, жидкий модельный состав вытекает через зазор между моделью и оболочкой или последняя впитывает его.

Таблица 6.22

Способы удаления моделей

Способ удаления	Теплоноситель или растворитель	Режимы удаления		Вероятность образования трещин в оболочке	Связующее оболочки, обсыпка
		Температура, °С	Продолжительность, мин		
Выплавление воскообразных моделей	Пар перегретый	~140	5—7	Незначительная	Любые
	ТВЧ	Нет данных	7—10	То же	»
	Полиэтиленгликоль	~200	3—5	»	»
	Модельный состав	120	8—12	Малая	»
	Вода	100	10—15	Средняя	Не растворимые в воде
	Горячий воздух *	150—300	10—15	Большая	Любые
Растворение солевых или пенополистироловых моделей	Вода	20—30	60—90	Незначительная	Не растворимые в воде
	Ацетон+толуол	20—30	10—20		То же
Выжигание пенополистироловых моделей	Газ печи	Выше 500	10—20	То же	Любые

* Применяют при выплавлении заформованных блоков, особенно крупногабартных (более 600 мм).

При выплавлении моделей паром в камере автоклава температуру повышают в течение нескольких секунд до 135—150 °С (рис. 6.26, а). Вследствие высокой теплоемкости пара модели быстро оплавляются, трещины в оболочках не успевают образоваться. Кроме того, оболочки при выплавлении моделей становятся прочнее вследствие продолжения гидролитической поликонденсации ЭТС связующего и кристаллизации добавок. Обязательно в установках предусматривают автоматическую защиту: в отсек для моделей нельзя подать пар до тех пор, пока дверь его не будет надежно закрыта, так же как нельзя открыть дверь его до сброса давления пара. Способ выплавления в автоклаве как весьма технологичный и высокопроизводительный получает в настоящее время все более широкое применение.

Для выплавления диэлектрическим нагревом оболочку блоков пропитывают водой и размещают их в нагревательной камере, где

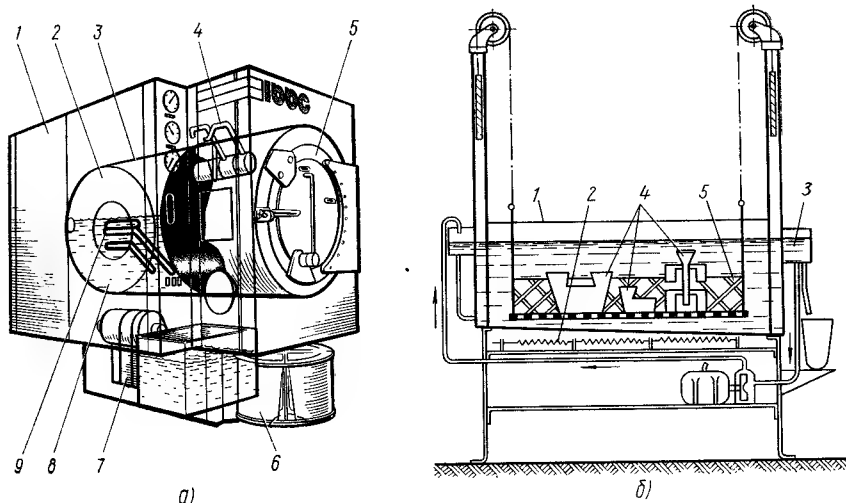


Рис. 6.26. Схемы установок для выплавления моделей:

а — автоклав, теплоноситель — пар: 1 — корпус; 2 — пар; 3 — барабан; 4 — система автоматических клапанов; 5 — быстродействующая безопасная крышка модельного отсека; 6 — сборник модельного состава; 7 — электродвигатель; 8 — вода; 9 — трубчатые электронагреватели; б — ванна, теплоноситель — вода 100 °С; 1 — корпус; 2 — электронагреватель; 3 — сборник модельного состава; 4 — блоки моделей; 5 — корзина

создают поле высокой частоты. Происходит быстрый нагрев оболочки. При этом поверхность моделей оплавляется с образованием зазора, компенсирующего расширение моделей. В последнее время для указанной цели используют и метод СВЧ-нагрева.

Способ выплавления моделей в полигликолях близок к способу выплавления их паром. Недостаток его в том, что оболочки пропитываются жидкостью, которую необходимо выжигать прокаливанием.

При выплавлении моделей в модельном составе теплоносителем служит тот же модельный состав, из которого изготовляют модели. При этом способе оболочки после остывания становятся прочней, чем при выплавлении в воде (см. ниже), так как они пропитываются модельным составом. Последнее является и недостатком способа. Вследствие того что модельный состав из оболочек необходимо выжигать [86], расход его достигает 15—40 % массы моделей.

Для выплавления в горячей воде блоки литниковыми воронками вверх погружают в кипящую воду и выдерживают до расплавления модельного состава, который всплывает на поверхность воды и стекает в сборник (рис. 6.26, б). В воде поддерживают 0,1—0,2 % по массе ПАВ, например контакта Петрова или ОП-10, для предупреждения омыления модельных составов и образования «обратных» эмульсий и одновременно для защиты железных ванн от коррозии [103]. Преимущество выплавления моделей в горячей воде перед удалением их в модельном составе заключается в меньшем расходе

модельного состава, который необходимо выжигать при прокаливании оболочек.

В серийном и единичном производстве для выплавления применяют установки периодического действия. В механизированных и автоматизированных цехах массового производства выплавляют модели в установках непрерывного действия (см. гл. 10).

Комбинированное выплавление заключается в следующем: после высушивания последнего слоя оболочки с ЭТС связующим типа орг-1 или орг-2 блоки смачивают водой, имеющей температуру окружающей среды; вода заполняет капилляры оболочки. Затем модели выплавляют в расплаве модельного состава при температуре ~100 °С и выше, после чего из оболочек вымывают остатки модельного состава в воде при температуре ~100 °С. Пропитывание оболочек водой увеличивает теплопроводность их. Таким образом, этот способ сочетает преимущество выплавления в модельном составе — быстрый нагрев и то, что модельный материал не может пропитать оболочки, так как ее капилляры заполнены водой, а промывка оболочек горячей водой обеспечивает наиболее полное удаление из них модельного состава. В массовом производстве устанавливают последовательно три ванны: для смачивания оболочек, выплавления моделей в модельном составе, промывки их в горячей воде.

Применяют и выплавление моделей горячим воздухом из форм после заформовывания блоков в опорный наполнитель. Формы на поддоне ставят в печь литниковой воронкой вниз. Оболочка при выплавлении впитывает часть модельного состава, который надо выжечь при прокаливании.

Сравнение известных способов выплавления моделей из оболочек показывает, что наиболее рациональными являются: выплавление паром в автоклаве и нагревом СВЧ.

Растворение моделей. Растворителями могут быть вода для солевых (например, карбамидных) моделей и органические жидкости, например, для пенополистироловых моделей плотностью более 200 кг/м³. При меньшей плотности их целесообразно выжигать одновременно с прокаливанием оболочек (см. ниже).

Для растворения моделей в воде используют установки подобные представленной на рис. 6.26; после растворения оболочки промывают в проточной воде.

Органические жидкости или смеси и особенно пары их пожаро- и взрывоопасны и вредны для работающих. Поэтому устройства для растворения моделей должны быть оборудованы соответствующими средствами пожаро- и взрывобезопасности.

Выжигание моделей [1, 5, 81]. Модели из пенополистирола при плотности не более 220 кг/м³ выжигают из оболочек одновременно с их прокаливанием. Преимущества этого способа перед рассмотренными выше заключаются в том, что отпадает операция удаления моделей выплавлением или растворением.

Выжигать модели можно только в пламенных печах, так как необходимо сжигать продукты деструкции полистирола в печи, обеспечивая поступление в нее достаточного количества кислорода.

Сыпучие опорные наполнители

Наполнитель (примерный размер зерен, мм)	Содержание, % по массе	Назначение
1. Шамотный порошок (0,2—1)	100	Отливки с габаритными размерами до 100 мм при четырехслойной оболочке
2. Шамотный порошок (0,2—1) с борной кислотой	99—98	Оболочковые формы для отливок с поверхностями более 100 × 100 мм
3. Порошок НКС (2—1)	1—2	То же
4. Размолотые и просеянные через сито 2 мм остатки залитых оболочек	100	»
5. Электрокорунд зернистый (0,1—0,22)	100	Формовка горячих крупногабаритных оболочек в горячем псевдоожигенном слое

Важно удалить (испарить) модели из оболочек с возможно большей скоростью, чтобы они, вследствие расширения при нагреве, не вызвали возникновения разрушающих напряжений в оболочках. Это достигается помещением блоков в нагретую прокаточную печь при температуре ~500 °С.

6.7. ФОРМОВКА

Формовка при литье по выплавляемым моделям — это упаковка оболочек в опорный наполнитель до прокаливания их или перед заливкой.

Известны следующие способы формовки: прокаливание и заливка оболочек без опорного наполнителя; формовка холодных (после выплавки моделей) оболочек, прокаливание и заливка их в наполнителе; прокаливание оболочек без наполнителя, формовка их в горячем наполнителе и заливка.

Оболочки из материалов основы с очень малым линейным расширением не заформовывают, их прокаливают с большой скоростью нагрева (конструкция I, п. 6.2): Оболочки же из материалов со значительным расширением нагревают при прокаливании медленно и заливают только горячими, необходимость чего подтверждается формулой (6.7).

Формовка холодных оболочек сыпучим наполнителем. На дно опоки, представляющей собой коробку, насыпают небольшой слой наполнителя, чтобы верхний уровень торца литниковой воронки оболочки был примерно на уровне верха опоки; ставят оболочки, воронки закрывают крышками и насыпают наполнитель. В него могут быть введены связующие, например борная кислота (табл. 6.23). Опоку ставят на вибростол с амплитудой колебаний 0,5—0,6 мм и частотой колебаний около 1400 в минуту. После уплот-

нения наполнителя снимают крышки и формы направляют для прокаливания в печь.

Оболочки прокаливают 7—10 ч и заливают их горячими, при литье стали они имеют температуру 800—900 °С; с момента извлечения форм из печи и до их заливки упакованные оболочки не успевают охлаждаться. При использовании опорного наполнителя оболочки нагревают постепенно и заливают горячими. Однако процесс прокаливания заформованных оболочек длителен, требует значительных затрат энергии и большого расхода жаростойких опок. При этом к оболочке, пропитанной модельным составом, затруднен доступ кислорода воздуха, необходимый для выжигания остатков модельного состава. В качестве наполнителя чаще всего применяют обычный кварцевый песок (кристаллический кварц) как один из доступных материалов. Однако это нередко приводит к искажению размеров оболочек и, следовательно, отливок, так как примыкающие к опоке наружные слои песка нагреваются до температуры полиморфного превращения (573 °С) и расширяются раньше, чем прилегающие к оболочке слои песка и сама оболочка. Расширяющийся песок, ограниченный стенками опоки, расширение которой невелико, давит на оболочку, что может вызвать ее деформацию или разрушение. При дальнейшем нагреве оболочки до температуры полиморфного превращения кварца, ее расширению в этот период препятствует наполнитель, оказывая на оболочку значительное давление. В результате наполнитель сжимает оболочку, в ней образуются трещины. Давление может вызвать даже деформацию (выпучивание) опоки, либо образование в ней трещин.

Следовательно, лучшим вариантом является прокаливание оболочек и заливка их без опорного наполнителя. Если это невозможно, то рационально прокаливать оболочку без наполнителя, а затем заливать в обогреваемых контейнерах (также без опорного наполнителя), либо упаковывать перед заливкой в горячий опорный наполнитель. При этом следует применять оболочковые и наполнительные материалы, не имеющие полиморфных превращений, например НКС, шамот, электрокорунд.

Формовка прокаленных горячих оболочек. В серийном производстве целесообразно использовать установки с псевдоожигенным слоем и располагать их возле печи прокаливания. Отличаются они

Таблица 6.24

Твердеющие опорные наполнители

Составляющие	Количество, % по массе	Составляющие	Количество, % по массе
1. Цемент глиноземистый марки 500	12—15	2. Пульвербакелит (смола № 104)	1,0—1,5
Песок кварцевый 1К020	88—85	Песок 1К020	99—98,5
Вода	30—40 (сверх 100)	Смачиватель песка	0,5—0,6 (сверх 100)

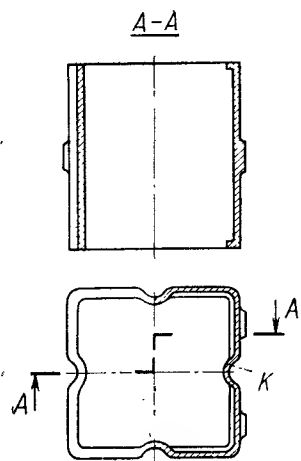


Рис. 6.27. Неразъемная опока из жаростойкой стали с компенсатором теплового расширения К

тем, что песок приводят в псевдооживленное состояние, включая подачу горячего воздуха с помощью ножной педали только в момент погружения в него оболочки, а после оседания песка в оболочку заливают расплав и далее в этой же установке отливки остывают до следующей плавки.

Формовка твердеющим опорным наполнителем. Примерные составы смесей приведены в табл. 6.24. Смесь 1 готовят в лопастном смесителе, наливают воду, насыпают цемент и перемешивают 2—3 мин; не прекращая перемешивания, насыпают песок и перемешивают еще 6—7 мин.

На стол вибратора ставят строганую подопочную плиту, на которую устанавливают блок модели с оболочкой, приклеивают его модельным составом и устанавливают опоку без дна из жаростойкой стали.

Внутреннюю поверхность опоки обкладывают картоном для образования зазора между опокой и наполнителем (рис. 6.27). Наливают наполнитель, включают вибромашину с амплитудой 0,3—0,4 мм при частоте вибрации 1600—1500 колебаний в минуту и по мере оседания смеси ее добавляют совком. Стол вибромашины имеет приемник для стекания воды. Продолжительность вибрирования 10—15 мин, после чего формы снимают со стола и устанавливают на стеллажи для медленной сушки.

В способе, предложенном М. Г. Глазом и Н. Г. Черняком, используют преимущества сухого сыпучего наполнителя, при этом применяют смесь 2 (см. табл. 6.24). Вследствие перехода пульвербакелита из состояния А в состояние С при нагреве форм для выплавки моделей смесь приобретает высокую прочность, а в процессе прокаливании она, вследствие деструкции связующего, становится непрочной и не препятствует усадке отливок. Формовать блоки можно только в опоках с дном.

6.8. ПРОКАЛИВАНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

При прокаливании решаются три задачи: удаление газотворных составляющих, повышение прочности, нагрев оболочки для лучшего заполнения полостей металлическим расплавом. Прокалывают оболочку в окислительной среде нагревом до 800—1100 °С с последующей выдержкой. При этом протекают процессы: нагрев оболочки; удаление из нее газотворных составляющих, источником которых является влага; удаление остатков модельного состава и продуктов

деструкции связующего; гидролитическая поликонденсация связующего; образование кристаллических структур связующего; термическое расширение оболочки и полиморфные превращения; образование капиллярных каналов.

Передача теплоты оболочке и перемещение теплоты в толще последней — главные процессы; все другие — следствие их. Отметим, что оболочковая форма обладает низкой эффективной теплопроводностью и она увеличивается с увеличением температуры. Например, теплопроводность кварцевой оболочки 0,29 Вт/(м·°С) при 600 °С, 0,35 Вт/(м·°С) при 1100 °С, 0,56 Вт/(м·°С) при 1500 °С.

Оболочковые формы, как правило, заливают горячими и поэтому нельзя отрывать прокаливание их от заливки. Температура формы должна быть при заливке сплавов: на основе железа 800—900 °С, на основе никеля 900—1100 °С, на основе меди 600—700 °С, на основе алюминия и магния 200—250 °С. При заливке сплавов на основе меди, алюминия и магния оболочки после прокаливания охлаждают.

Главные источники газов: модельный состав (табл. 6.25), впитавшийся в оболочку, и продукты деструкции связующего [85, 86]. Процесс их удаления состоит из двух стадий: газификации и сжигания продуктов деструкции; выжигания углерода, отложившегося в капиллярах оболочки. Цвет излома полностью прокаленной оболочки белый или розовый. Цвет излома от черного до серого — признак того, что в капиллярах есть углерод и оболочковая форма недостаточно газопроницаема; полученные отливки поражены газовыми раковинами и имеют повышенное содержание углерода в поверхностном слое стальных отливок.

Таблица 6.25

Содержание модельного состава и углерода в образцах оболочек после выплавки

Теплоноситель	Количество модельного состава		Содержание углерода, % к массе оболочки
	г/кг оболочки	% к массе оболочки	
Вода, 97—99 °С	38	3,8	3,0—3,2
Модельный состав, 125—130 °С	70	7,0	5,8—6,0
Воздух (поток), 170—180 °С	51	5,1	4,2—4,4

Отметим, что чрезмерная прочность оболочки может привести к трещинам в отливках вследствие торможения их усадки.

К оболочке, представляющей собой капиллярно-пористое тело, теплота может быть передана излучением (радиацией), конвекцией, теплопроводностью или сочетанием этих процессов. Состав газов в печи должен быть окислительным, чтобы выгорели все остатки модельного состава и продукты деструкции связующего, включая углерод. Продукты сгорания следует непрерывно удалять из области нагрева оболочек. С этих позиций рассмотрим печи для прокаливания оболочковых форм.

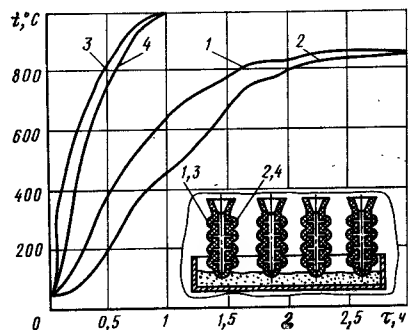


Рис. 6.28. Термограммы нагрева оболочек в проходной электропечи сопротивления (1 и 2) и проходной газовой печи (3 и 4)

Электрические печи. В печах сопротивления оболочковые формы получают теплоту излучения от спиралей и кладки печи. При этом теневые части форм непосредственно не получают теплоту, в результате чего неизбежно создается температурный градиент в различных частях оболочки и замедляется процесс нагрева (рис. 6.28). Последний особо

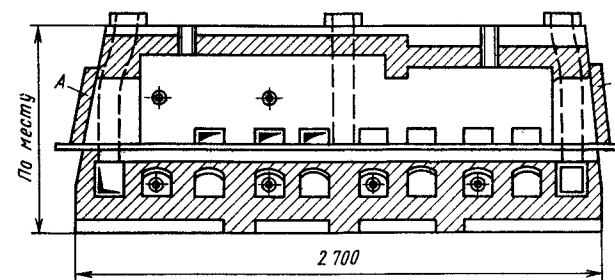
длителен при прокаливании оболочек в опорном наполнителе, масса которого в 8—16 раз больше массы оболочек. В электропечах трудно поддерживать избыток кислорода, необходимый для окисления продуктов деструкции остатков модельного состава, связующего и углерода. Электрические печи сопротивления мало пригодны для прокаливания оболочек и совершенно непригодны, когда применяют выжигаемые модели; их заменяют газовыми.

Газовые печи. В печах этого типа также теплота передается, главным образом, от горячих газов более холодным оболочкам или опокам. Но в отличие от нагрева в электрических печах газы омывают оболочки и опоки, и нет теневых участков (см. рис. 6.28). При этом в газовых печах легко поддерживать необходимый окислительный состав газов. Особенно интенсивно протекают процессы при 550—600 °С, газифицируется и сгорает модельный состав, и при 800—900 °С, выгорает углерод из оболочки. При прокаливании в опорном наполнителе требуется теплота для нагрева последнего и затрудняется доступ кислорода к оболочке. Это увеличивает продолжительность прокаливания примерно в 10 раз по сравнению с прокаливанием истинных оболочек.

Лучший режим нагрева в газовых печах — мягкий; он возможен при нижних (рис. 6.29) топках, так как это обеспечивает рециркуляцию газов, что снижает расход топлива в отличие от печей только с острым верхним нагревом. Газы при движении из нижних топок вверх увлекают часть отходящего газа, смешиваясь с последним и таким образом осуществляется рециркуляция.

При движении газа и продуктов сгорания вниз происходит передача теплоты оболочкам или опокам, установленным на поддонах. Между днищами поддонов предусматривают промежутки 50—60 мм для осуществления рециркуляции и удаления отходящих газов через боры в дымовую трубу. Через верхние горелки вдувают газ с избытком воздуха только для горения модельного состава и углерода. Устройства для ввода в печь поддонов с оболочками и извлечения их из печи аналогичны применяемым в проходных электропечах. Дверки поднимают и опускают с помощью редукторов с электромо-

Рис. 6.29. Схема газовой прокалочной печи



торами, причем электрическая схема такова, что невозможно открыть дверь А при открытой двери Б, чтобы в работающей печи не нарушать движение газов и не создавать неконтролируемого подсоса воздуха [47].

Печи с высокотемпературным псевдоожиженным слоем огнеупора. Схема такой печи с устройством для заливки и охлаждения оболочек (без механической части и крышек) приведена на рис. 6.30 [19]. Топливом служит газ, поступающий через трубки 1 в слой электрокорунда 2 с зернами размерами 0,1—0,12 мм. Газ в смеси с воздухом нагревает электрокорунд и вызывает его «кипение». Оболочковые формы с закрытыми воронками устанавливают в решетчатую кассету и погружают в нагретый до 900—1000 °С псевдокипящий электрокорунд. Оболочка омывается со всех сторон находящимися во взвешенном состоянии зернами горячего электрокорунда и газами, содержащими избыток кислорода, достаточный для сжигания остатков модельного состава и продуктов деструкции связующего.

Таким образом, при этом способе прокаливания нагревается только оболочка, без наполнителя; теплота оболочке передается одновременно излучением (радиацией), конвекцией и теплопроводностью; в газовой смеси поддерживается количество кислорода, достаточное для сгорания продуктов деструкции модельного состава, связующего и углерода; температура псевдокипящего слоя соответствует оптимальной для быстрого протекания реакции газификации и окисления органических остатков в оболочке.

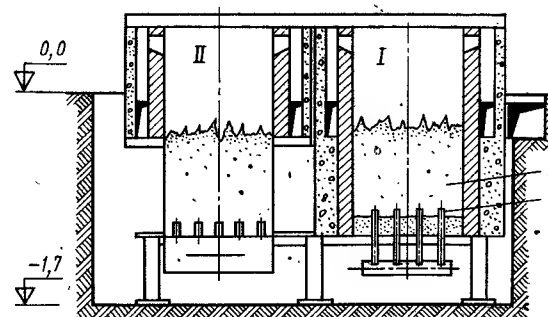


Рис. 6.30. Схема установки для прокаливания, заливки и охлаждения оболочек в псевдокипящем слое электрокорунда: I — прокаливание; II — заливка и охлаждение отливок

Вследствие изложенных особенностей продолжительность прокаливания шестислойной оболочки составляет 6—10 мин. За это время выгорает практически весь углерод, что важно при получении отливок, в которых недопустимо повышение его содержания. Рядом с печью прокаливания расположена установка для заливки оболочек в горячем наполнителе и создания условий направленного затвердевания отливок. Оболочки в cassette переносят и погружают в псевдоожигенный электрокорунд, затем прекращают подачу газовой смеси, наполнитель оседает и обжимает оболочку. Она готова к заливке. После заливки в слой электрокорунда снизу подают сжатый воздух для создания условий направленного затвердевания отливок. Если недопустимо обезуглероживание поверхностного слоя отливок, воздух заменяют газом, не содержащим кислород. Газ препятствует поступлению кислорода воздуха к поверхности отливок и служит источником пироуглерода, откладываемого в оболочке.

Следует отметить, что прокаливать в псевдоожигенном слое электрокорунда необходимо оболочки из термостойких материалов, позволяющих нагревать оболочки без растрескивания с любой скоростью. Таким свойством в наибольшей степени обладает НКС (табл. 6.26). Из него следует также готовить защитные колпачки для предотвращения попадания витающих зерен электрокорунда

Таблица 6.26

Режимы прокаливания и заливки оболочковых форм (расплав типа стали)

Форма	Основа оболочки	Линейное расширение при нагреве до 1100°C, %	Продолжительность нагрева при прокаливании, ч	Температура оболочки, °C	
				после прокаливания	при заливке
Истинно оболочковая	НКС	До 0,04	0,1—0,2	900—1100	20—1000
Оболочковая	Белый электрокорунд	До 0,4	2,5—3	900—1100	850—950
	Суспензия — дистен-силлиманит		2,5—3		850—950
	Обсыпка — белый электрокорунд	До 0,4		900—1100	
	Шамот высокоглиноземистый	До 0,4	3—3,5	850—900	800—850
Оболочковая в случае сухом опорном наполнителе	Кристаллический кварц	1,2—1,4	5—6	900—950	850—900

Примечания. 1. При нагреве оболочек из кристаллического кварца происходит скачкообразное полиморфное превращение при 573 °C.

2. Только оболочковые формы из кристаллического кварца заформовывают в опорный наполнитель, остальные прокаливают и заливают без опорного наполнителя.

в полость оболочковых форм. Возможны два способа изготовления колпачков: спеканием из порошков НКС или по технологии получения оболочковых форм с использованием НКС в качестве огнеупорной основы суспензии и обсыпочногo материала.

Колпачки должны герметично закрывать внутреннюю полость литниковой воронки и легко сниматься.

6.9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

Керамическими называют негизотворные стержни без связующих или с неорганическими связующими. Такие стержни применяют для получения в отливках протяженных узких сложных полостей или отверстий, например, в полых охлаждаемых лопатках с щелями, сужающимися до 0,4 мм, в цельнолитых колесах со сложным профилем лопаток, в сложных корпусных отливках.

Стержни со знаками изготавливают в металлических полированных стержневых ящиках, затем прокаливают или сушат, контролируют их точность и прочность, после чего устанавливают в пресс-формы для изготовления удаляемых моделей. После образования оболочек на блоках моделей и удаления последних стержни в полости оболочковых форм зафиксированы знаками (рис. 6.31).

В области верхних знаков между стержнем и оболочкой предусматривают термические зазоры, чтобы при прокаливании оболочек последние не препятствовали расширению стержней, а также чтобы расширение оболочек при нагреве не вызывало растягивающих напряжений и трещин в стержнях. Зазоры предусматривают вокруг верхнего знака стержня и на его торце, величину их рассчитывают и выполняют путем наклеивания сгорающей при прокаливании пленки или слоя выплавляемого модельного состава.

Свойства керамических стержней. У стержней должна быть гладкая поверхность — высота микронеровностей $Rz < 30$ мкм; низкий коэффициент линейного расширения — менее $2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ в интервале температур 20—1100 °C; стойкость к тепловым ударам до температуры 1250—1300 °C; точность размеров — в пределах менее $\pm 0,15\%$ номинальных; высокая прочность — $\sigma_n > 15$ МПа; высокая пористость (влагоемкость) — 25—30 %; низкая (сравнительно) плотность — 1200—1700 кг/м³. Стержни также не должны деформироваться при заливке оболочек расплавом. Деформация под нагрузкой 0,4 МПа не должна происходить при температуре ниже 1250 °C. Стержень не должен взаимодействовать химически со сплавом или его окислами; удаление его из полостей отливок должно

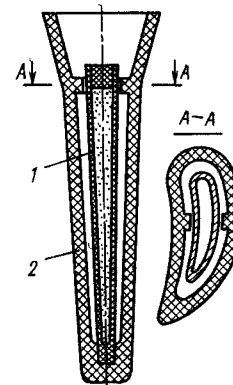


Рис. 6.31. Схема оболочки со стержнем:

1 — керамический стержень; 2 — оболочка

осуществляться без особых затруднений механическим, электрохимическим, химическим способами. Материалы для изготовления керамических стержней должны быть недефицитными и по возможности недорогими.

Этому комплексу свойств наиболее полно соответствуют порошки НКС и циркона (табл. 6.27). Так, коэффициент линейного расширения при нагреве до 1100 °С стержней из кристаллического кварца $1,92 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, а из порошков НКС — $2 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, т. е. почти на два порядка меньше. Следует отметить, что тепловое расширение кристаллического кварца проходит обратимо и скачкообразно, изготовление стержней из него не будет рассмотрено.

Таблица 6.27

I класс — спеченные керамические стержни

Состав смеси, % по массе				Режим изготовления				
основа		пластификатор		прессование		обжиг		t начала деформации при 0,4 МПа, °С
смесь порошков	количество	состав	количество	t, °С	выдержка под давлением, с	t, °С	выдержка в печи, ч	
1. НКС пылевидный 70—75, зернистый 25—30	80—82	Парафин 91,4, полиэтилен 5,0, канифоль 3,6	20—18	75—85	10—20	1100	Нет сведений	1200—1250
2. Цирконовый концентрат 92, карбид кремния зеленый (М7 или М14)8, пятиокись ванадия 0,05 (сверх 100 %)	87	То же	13	75—85	15—20	1300—1350	6—8	1350
3. Электрокорунд М5 или М7 — 20, М40 — 50, шлифзерно — 25, двуокись циркония — 5	88—90	Парафин 95, полиэтилен 5	12—10	90	20—30	1200	10	1400

Примечание. Давление запрессовки стержней при их изготовлении 10—20 МПа; шероховатость поверхности 40 мкм; кажущаяся пористость > 20 %; растворимость в щелочи > 100 ч.

Классификация керамических стержней. Стержни подразделяют на спеченные (I класс) и холодноотвержденные (II класс).

Спеченные стержни получают сухим твердофазным и жидкостным спеканием. Под спеканием понимают изготовление камнеподобных предметов после обжига сформованных с пластификатором смесей из полидисперсных порошков [40, 84].

Сухое спекание — это процесс, идущий в направлении уменьшения свободной энергии системы и протекающий при температуре не менее 0,8t плавления чистого огнеупорного окисла, при этом зерна порошков «свариваются» (спекаются друг с другом), стержни приобретают прочность. Для уменьшения температуры и продолжительности спекания в смеси вводят добавки — минерализаторы (например, в корундовую смесь вводят 5 % порошка стабилизированной двуокиси циркония) [15, 40]. Сухое спекание широко применяют для изготовления тонкостенных стержней, прочных при температуре 20 °С и заливке расплава.

Жидкостное спекание отличается от сухого тем, что в смесь порошков вводят легкоплавкую добавку, например, тонкий порошок силиката натрия с температурой плавления ~700 °С. Затвердевшая после охлаждения жидкость служит связующим стержней. Однако такие стержни размягчаются и теряют прочность при нагреве до сравнительно невысоких температур.

II класс — холодноотвержденные стержни. Способ изготовления их основан на свойстве кислого (рН ≈ 2) связующего раствора ЭТС, например типа орг-1, переходить в желатинообразное, а затем в твердое состояние — гель — при введении в смесь щелочной жидкости с рН > 8 (табл. 6.28). Гель SiO₂ цементирует зерна основы, обес-

Таблица 6.28

II класс — холодноотверждающие стержни

Основа, % по массе			Связующий раствор, % по массе		Свойства после прокаливания			
Материал	Соотношение в смеси	Количество твердой составляющей в суспензии	Содержание в растворе SiO ₂	Количество связующего в суспензии	Коэффициент линейного расширения при 20—1000 °С, 1/°С	Кажущаяся пористость, %	σ _н , МПа	t, °С, начала деформации при 0,4 МПа
НКС (кварц аморфный): пылевидный зернистый	70 30	72—75	16	25—28	$2 \cdot 10^{-7}$	~30	5	1250
Дистей-силлиманит: пылевидный зернистый	80 20	79—80	30—35	21—20	$10 \cdot 10^{-7}$	~35	6	1300
Электрокорунд белый: М5 или М7 М40 ШЗ № 10	20 50 30	80	20—23	20	$10 \cdot 10^{-7}$	~30	6	1400

Примечания. 1. Во всех случаях связующий раствор типа орг-1; растворителем служит спирт этиловый; огелитель вводят в количестве 1 % по массе сверх 100 %.
2. Шероховатость поверхности, проверяемая после прокаливания, должна быть в пределах 5—15 мкм.

печивает прочность стержню. Жидкость с высоким рН называют огеливателем; важно, чтобы огеливатель испарился при нагреве стержня, не вступал в химическое взаимодействие с собственно связующим (SiO_2) и основой. Стержни не спекают, а после сушки и контроля их используют при изготовлении моделей. Прокаливают стержни одновременно с прокаливанием оболочек. Прочность таких стержней до нагрева с оболочкой примерно на порядок ниже прочности стержней класса I. Поэтому при уменьшении толщин стенок отливок до 0,5—1 мм и уменьшении толщин стержней до 0,4—1 мм следует применять стержни, получаемые сухим спеканием.

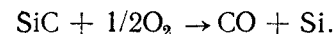
Изготовление керамических стержней I класса включает: приготовление пластичной горячей стержневой смеси, формирование стержня в пресс-ящике и обжиг [68, 84, 94]. В обогреваемый смеситель загружают пластификатор (см. табл. 6.27), расплавляют его, вводят основу смеси и минерализатор, перемешивают их непрерывно, температуру смеси поддерживают с помощью терморегулятора. Пластификатор способствует введению горячей смеси в пресс-ящик, а после охлаждения он служит связующим стержня до его спекания. Целесообразно изготавливать стержни полыми — оболочковыми с толщиной стенок 1,5—2 мм [110]. Полости выполняют металлическими вкладышами с уклоном 1—3°, которые извлекают после затвердевания пластификатора. Перед укладкой стержней в короба для обжига в полость засыпают глинозем.

Обжигают стержни в засыпке из глинозема или на огнеупорных пористых драйерах. Это необходимо, так как при обжиге вследствие расплавления пластификатора стержень полностью теряет прочность; одновременно засыпка или драйер служит адсорбентом пластификатора.

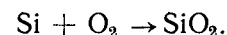
Обжигают стержни в газовых печах, так как в них можно поддерживать окислительную среду, необходимую для сжигания пластификатора и выделяемого им углерода. Известны два режима обжига. По первому режиму стержни в коробах загружают в теплую печь и со скоростью $\sim 100^\circ\text{C}/\text{ч}$ повышают температуру до $1000\text{—}1100^\circ\text{C}$, выдерживают при этой температуре, затем обеспечивают температуру спекания порошков стержня, выдерживают несколько часов, после чего медленно охлаждают (примерная длительность цикла 20—25 ч). По второму режиму стержни в коробах загружают в печь при температуре спекания ($1200\text{—}1300^\circ\text{C}$), выдерживают 6—10 ч и охлаждают (стержни остывают вместе с коробами). Второй режим является предпочтительным, но связан с необходимостью применять термостойкие короба.

В процессе изыскания состава 2 (см. табл. 6.27) были проведены исследования [67], показавшие, что усадка цирконовых образцов, полученных прессованием термопластичной смеси и спеканием при 1350°C , составляет 1,5—2 %, а из карбида кремния образцы показали расширение $\sim 15\%$ вследствие окисления порошков при той же температуре обжига. Таким образом, применение смеси порошков циркона с порошком карбида кремния (7—8 %) позволило получать высокопрочные стержни практически без усадки при спекании.

Собственно связующим служит SiO_2 . Окисление и образование керамики начинается при температуре выше 900°C . Реакции имеют вид



Пары Si оседают на зернах циркона и мгновенно окисляются



В состав пластификатора вводят 3,5—3,7 % по массе сосновой канифоли, что улучшает заполняемость стержневых ящиков смесью при меньшем содержании пластификатора, снижает температуру запрессовки до $75\text{—}85^\circ\text{C}$, устраняет необходимость смазывания ящиков, прессового стакана и пуансона. Перед обжигом и засыпкой глиноземом стержни «рихтуют» в гипсовых драйерах. Стержни укладывают в драйеры, на плоскость разъема последних кладут наполнительные рамки и насыпают глинозем; далее драйеры ставят в термощаф и выдерживают в нем при температуре $40\text{—}50^\circ\text{C}$ до полного прогрева стержней. Затем драйеры со стержнями охлаждают на воздухе до температуры 20°C .

Изготовление керамических стержней II класса состоит из приготовления стержневой смеси, запрессовки ее в ящик и сушки (отверждения) [89]. Применяют, как правило, связующие типа орг-1.

В литературе рекомендуют в качестве отвердителей растворы едкого натра. Но едкий натр не испаряется и не сгорает при накаливании, а с гелем SiO_2 образует легкоплавкое стекло с низкой вязкостью, пленки которого окружают зерна основы. Деформация стержня интенсивно возрастает при нагреве его до температуры выше 600°C . Стержни толщиной 0,4—2,5 мм быстро нагреваются до температуры затвердевания расплава, деформируются или разрушаются, что приводит к браку отливок. Кроме того, при огеливании едким натром трудно управлять процессом огеливания и на стержнях образуются крупные трещины. Свойствами не образовывать с материалом стержней легкоплавкие соединения и улетучиваться при прокаливании ($t \approx 300^\circ\text{C}$) обладают, например, триэтаноламин, аммиак или их смеси, растворимые в спирте и воде. Как правило, количество огеливателя составляет 1 % по массе к связующему. Концентрацию его устанавливают опытным путем в зависимости от необходимой продолжительности огеливания.

Стержневую смесь готовят однофазным или двухфазным методами. При однофазном методе мерную дозу связующего для одного стержня смешивают с огеливателем и вводят туда предварительно смешанные твердые составляющие. После 15—20 с перемешивания смесь до начала огеливания запрессовывают в ящик.

На первой фазе двухфазного метода в течение 40—60 мин связующее смешивают с основой до получения густой, но текучей смеси. Такая смесь при медленном перемешивании в защищенном от испарения спирта сосуде не изменяет свои свойства и может быть использована в течение нескольких дней [2]. На второй фазе процесса — перед употреблением смеси в нее при активном перемешивании

вводят огеливатель, перемешивают 15—30 с и запрессовывают смесь в ящик, где она отверждается.

При двухфазном способе нет ограничений по времени и интенсивности перемешивания смеси без огеливателя. Получают однородную смесь с равномерным распределением связующего на зернах, а также крупных зерен в объеме смеси. Это позволяет в один объем связующего замешать на 25—30 % больше твердых составляющих, чем при однофазном способе, достичь более плотной укладки зерен и, как следствие, уменьшить усадку при затвердевании геля и размеры трещин; а также повысить прочность стержней на 50—60 % при меньшем расходе связующего. Применение двухфазного способа позволяет механизировать процесс приготовления смеси.

Порцию смеси запрессовывают в металлический ящик и после перехода ее в резиноподобное состояние (через 1—2 мин) снимают одну половину ящика, а оставшийся во второй половине стержень сушат с помощью пламени горелки. С поверхности стержня испаряется и сгорает спирт, диффундирующий из глубинных слоев. Стержень твердеет. Этот процесс сопровождается усадкой связующего и образованием трещин. При медленном твердении стержня (в естественных условиях) развиваются крупные трещины шириной до 1 мм. Интенсивный нагрев пламенем горелки ускоряет процесс необратимого твердения геля и предотвращает образование крупных трещин. Пары спирта сгорают на поверхности стержня и на ней образуется сетка мелких трещин, которые затирают густой суспензией с помощью тампона.

Вместо сжигания спирта горелкой можно применять вакуумную сушку. Стержень на нижней части ящика помещают в вакуумный шкаф и постепенно создают разрежение; вакуумная сушка уменьшает количество и размеры трещин, что приводит к повышению прочности стержней.

Повышение прочности керамических стержней пропиткой. Пропитывают стержни толщиной 0,4—4 мм раствором эпоксидной смолы: 9 частей смолы смешивают с 1-й частью полиэтиленамина; в 4 части этой смеси вливают 6 частей ацетона и получают однородный раствор; затем в него на 3—5 мин погружают стержни; после чего их сушат 10—20 мин в вытяжном шкафу; полимеризуют смолу в стержнях при 120—140 °С за 40—60 мин [33]. После этого прочность электрокорундовых стержней, предварительно спеченных при 1300 °С, повышается с 14—15 до 50 МПа. В процессе прокаливания при 1000 °С электрокорундовых оболочек с пропитанными стержнями смола выгорает и прочность стержней становится примерно такой же, как до пропитки и их удаляют из отливок обычными способами. Этот же способ можно рекомендовать для существенного повышения прочности тонкостенных холодноотвержденных стержней.

ГЛАВА 7

ПЛАВКА МЕТАЛЛА И ЗАЛИВКА ФОРМ

Плавка металла и заливка форм являются важнейшей частью технологического процесса производства отливок, определяющей конечное качество литых деталей.

7.1. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При литье по выплавляемым моделям в качестве составляющих шихты используют готовые сплавы в слитках, ферросплавы, лигатуры, поставляемые металлургическими заводами. Реже для выплавки сплавов особо ответственного назначения со строго регламентированным содержанием примесей используют чистые металлы. В качестве полноценных свежих сплавов широко используют отходы кузнечно-прессовых и металлообрабатывающих цехов: немерные заготовки, обрезки, высечки, облой, бракованные детали.

Ферросплавы применяют для выплавки сталей и сплавов, в которых содержание железа и углерода не ограничено низкими пределами. В этом случае ферросплавами пользоваться экономичнее и удобнее, так как они легче растворяются в железной основе стали, чем чистые металлы, и меньше угорают. Низкоуглеродистые стали для шихты, содержащие малое количество примесей, можно применять для выплавки любых марок сталей с необходимой подшихтовкой.

Во всех случаях в шихту вводят возврат литейного производства (литники, выпоры, бракованные отливки). Возврат после необходимой подготовки (очистки, измельчения) является полноценным шихтовым материалом. Использование для плавки одного возврата литейного производства рекомендовать нельзя, так как при многократном переплаве повышается газонасыщенность металла и загрязненность его окислами.

Обычно в цехе выплавляют несколько литейных сплавов, поэтому должны быть приняты меры, предупреждающие смешивание возврата различного состава. Бракованные отливки легко различают по конфигурации. Литниковые системы же должны иметь постоянные для каждого сплава отличительные обозначения (различные приливы или клейма, выполняемые в пресс-форме). Например, на модели литниковой воронки выполняют одну или несколько полосок, служащих различительным признаком марки сплава.

Возврат хранят по сплавам на шихтовом дворе в специальной замаркированной таре. Металлические отходы механических и куз-

нечных цехов сортируют и хранят по маркам. Эти материалы используют как свежие добавки в шихту.

В случае, если те или иные отходы не соответствуют техническим условиям по химическому составу, их изолируют и пускают в переплав только в количестве, предусмотренном расчетом шихты. Если полный контроль химического состава невозможен, следует предварительно переплавлять смешанные отходы и отливать из этого переплава слитки, удобные для последующего использования в качестве шихты. О составе металла слитков судят по данным химического анализа плавки.

Шихтовые материалы очищают от ржавчины, окалины, масла, песка, остатков оболочки.

7.2. ЛИГАТУРЫ

При выплавке сплавов цветных металлов, имеющих сравнительно невысокую температуру плавления, широко применяют двойные и тройные лигатуры, содержащие более тугоплавкие элементы, что позволяет избежать перегрева основного сплава и связанного с этим повышенного угара.

Лигатуры должны иметь температуру плавления, близкую к температуре плавления основного сплава, к которому их добавляют, при возможно более высоком содержании тугоплавкого элемента. Так, алюминиево-медная легатура (67 % Al + 33 % Cu), присаживаемая к алюминиевым сплавам с температурой плавления 650—700 °С, имеет температуру плавления 548 °С, в то время, как температура плавления чистой меди 1083 °С.

Лигатуры применяют также при выплавке сплавов с узкими пределами содержания легирующего элемента, когда введение его сопровождается бурной реакцией и степень усвоения непостоянна. Все лигатуры целесообразно готовить в высокочастотных индукционных печах.

7.3. РАСЧЕТ ШИХТЫ

В производстве литья по выплавляемым моделям наибольшее распространение получили индукционные плавильные печи вместимостью до 250 кг. Одним из преимуществ этих печей является малый угар элементов, так как процесс плавки протекает быстро и идет под слоем нейтрального или восстановительного шлака. Угар элементов колеблется в значительных пределах. При плавке сталей и сплавов на основе никеля угар составляет:

Элемент	Fe	C	Si	Mn	Cr	W	Ti	Al
Угар, %	1—3	5—15	10—20	30—50	5—10	3—5	40—60	30—50

При плавке цветных металлов угар составляет:

Элемент	Zn	Sn	Pb	Fe	Al	Si	Mn
Угар, %	6—10	1—3	2—4	1—2	1—3	5—7	1—2

Угар никеля, молибдена, серы и фосфора практически не происходит. При плавке в печах с кислой футеровкой кремний не только не угорает, но, наоборот, содержание его увеличивается вследствие перехода из футеровки в металл. Чтобы получить высококачественные по химическому составу отливки, необходимо компенсировать угар элементов.

Шихту рассчитывают, пользуясь следующими исходными данными: требуемым химическим составом сплава, химическим составом шихтовых материалов, угаром элементов.

Расчет шихты ведут на основные элементы и проверяют на допустимую величину вредных примесей. Расчетное содержание того или иного элемента в шихте определяют по формуле

$$K_{\text{ш}} = [K_{\text{ж}} / (100 - y)] 100,$$

где $K_{\text{ж}}$ — известное содержание элемента в жидком сплаве, перед заливкой; y — известный угар элемента при плавке, % по массе.

Определив среднее содержание элемента в шихте, рассчитывают процентное содержание составляющих шихты.

Пример расчета шихты для выплавки стали 20Х25Н19С2Л в печи с основной футеровкой (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Исходные данные о химическом составе стали 20Х25Н19С2Л для расчета шихты

Показатель	Содержание элементов, % (остальное Fe)						
	C	Cr	Ni	Si	Mn	S	P
Химический состав по ТУ	≤0,2	23—27	18—20	2—3	0,5—1,5	≤0,03	≤0,035
Требуемый химический состав отливок	0,15	25	19	2,5	1	≤0,03	≤0,035
Содержание элементов в возврате (по данным анализов предыдущих плавов)	0,17	26	18,8	2,3	0,8	0,02	0,02

Масса завадки 200 кг, из них 40 % свежих шихтовых материалов, что составляет 80 кг, и 60 % возврата — 120 кг.

Расчет содержания Cr. Требуемое содержание в отливках 25 % Cr ($y = 7$)

$$K_{\text{ш Cr}} = [25 / (100 - 7)] 100 = 26,8 \% \text{ или } 53,6 \text{ кг.}$$

Вносится Cr в шихту с возвратом $26 \cdot 120 / 100 = 31,2$ кг. Следует ввести в шихту Cr с феррохромом $53,6 - 31,2 = 22,4$ кг. Требуется феррохрома (65,2 % Cr; 0,15 % C; по данным сертификата сумма других примесей 0,12 %)

$$22,4 \cdot 100 / 65,2 = 34,35 \text{ кг.}$$

Расчет содержания Ni. Требуемое содержание в отливках 19 % Ni ($y = 0$)

$$K_{\text{ш Ni}} = K_{\text{ж}} = 19 \% \text{ или } 38,0 \text{ кг.}$$

Вносится Ni в шихту с возвратом

$$(18,8 \cdot 120) / 100 = 22,56 \text{ кг.}$$

Требуется электролитического никеля (99,8 % Ni; 0,1 % С; сумма примесей 0,6 %) $38,0 - 22,56 = 15,44$ кг (принимая 100 % Ni).

Р а с ч е т с о д е р ж а н и я Si. Требуемое содержание в отливках 2,5 % Si ($y = 15$)

$$K_{\text{ш Si}} = [2,5/(100-15)] 100 = 2,94 \% \text{ или } 5,88 \text{ кг.}$$

Вносится Si в шихту с возвратом $[2,3 \cdot 120/100] = 2,76$ кг. Следует ввести Si в шихту с ферросилицием $5,88 - 2,76 = 3,12$ кг. Требуется ферросилиция (76,5 % Si; сумма примесей 1,2 %) $3,12 \cdot 100/76,5 = 4,07$ кг.

Р а с ч е т с о д е р ж а н и я Mn. Требуемое содержание в отливках 1 % Mn ($y = 40$)

$$K_{\text{ш Mn}} = (1,0/(100-40)) 100 = 1,7 \% \text{ или } 3,4 \text{ кг.}$$

Вносится Mn в шихту с возвратом $[0,8 \cdot 120/100] = 0,96$ кг. Следует ввести Mn в шихту с ферромарганцем $3,4 - 0,96 = 2,44$ кг. Требуется ферромарганца (82,0 % Mn; 1,2 % С; сумма примесей 2,6 %) $2,44 \cdot 100/82 = 3,0$ кг.

Р а с ч е т с о д е р ж а н и я Fe. Железо является основным компонентом сплава, содержание его должно быть 52,35 ($y = 2$)

$$K_{\text{ш Fe}} = [52,35/(100-2)] 100 = 53,4 \% \text{ или } 106,8 \text{ кг.}$$

Вносится Fe в шихту с возвратом $52,0 \cdot 120/100 = 62,4$ кг (по разности в химическом составе возврата). Вносится Fe в шихту с ферросплавами 12,7 кг. Следует ввести Fe шихту с низкоуглеродистой сталью

$$106,8 - 75,1 = 31,7 \text{ кг.}$$

Требуется низкоуглеродистой стали (98,5 % Fe; 0,1 % С; сумма примесей 1,4 %)

$$31,7 \cdot 100/98,5 = 32,2 \text{ кг.}$$

Р а с ч е т с о д е р ж а н и я C. Требуемое содержание в отливках 0,15 % C ($y=10$)

$$K_{\text{ш C}} = [0,15/(100-10)] 100 = 0,17 \% \text{ или } 0,340 \text{ кг.}$$

Вносится в шихту: с возвратом $0,17 \cdot 120/100 = 0,204$ кг, с низкоуглеродистой сталью 0,032 кг, с ферросплавами 0,088 кг,

$$0,204 + 0,032 + 0,088 = 0,324 \text{ кг.}$$

Требуется дополнительно ввести C в шихту:

$$0,340 - 0,324 = 0,016 \text{ кг}$$

(16 г углерода в виде дробленого боя графитовых электродов).

Далее рассчитанный состав шихты следует проверить на допустимое содержание вредных примесей S и P. Допускается S — 0,03 %, или 0,06 кг; P — 0,035 %, или 0,07 кг. Вносится в шихту (для S и P, $y = 0$): с возвратом $0,02 \cdot 120/100 = 0,24$ кг S и 0,024 кг P (по 0,02 %); с низкоуглеродистой сталью 0,009 кг S и 0,009 кг P (по 0,03%); с ферросплавами 0,011 кг S и 0,013 кг P (0,03 % S; 0,03—0,3 % P).

Содержание серы: $0,024 + 0,009 + 0,011 = 0,044$ кг или 0,022 % S < 0,03 %.

Содержание фосфора: $0,024 + 0,009 + 0,013 = 0,046$ кг или 0,023 % P < 0,035 %.

Расчетное содержание S и P в шихте меньше допустимого предела.

Если проведенные проверки по содержанию углерода, серы и фосфора в шихте показывают повышенное их содержание, то следует применять для шихты сталь с меньшим содержанием углерода и ферросплавы с меньшим содержанием примесей.

Весьма незначительным количеством углерода (0,16 г в приведенном примере), необходимого для подшихтовки, в практической работе можно пренебречь, так как это составляет менее 0,01 % и значительно меньше возможных ошибок при взвешивании шихты.

Данные расчета шихты представляют в одной общей таблице. При составлении шихты для плавки необходимо иметь в виду рациональное использование шихтовых материалов и металла в целом. Масса шихты (завалка) складывается из общей массы отливок, массы элементов ЛПС и безвозвратных потерь.

Коэффициент выхода годных отливок представляет собой отношение

$$K_{\text{в. г}} = M_{\text{о. ч}}/M_{\text{ш}},$$

где $M_{\text{о. ч}}$ и $M_{\text{ш}}$ — массы отливок (чистой) и шихты.

Следует использовать максимальное количество возврата: литники, выпоры, бракованные отливки. В идеальном случае возврат должен составлять основную массу шихты, а добавки свежих материалов (ферросплавы, чистые металлы, лигатуры) в сумме должны компенсировать требуемый по норме расход металла

$$H_p = M_d + B_{\text{п}},$$

где M_d — масса обработанной детали; $B_{\text{п}}$ — масса безвозвратных потерь (угар, сплеск, шлифовочная пыль).

Рациональное использование металла повышает коэффициент его использования

$$\text{КИМ} = M_d/H_p.$$

7.4. ПЛАВКА СПЛАВОВ

Для плавки сплавов могут быть применены любые плавильные печи, отвечающие требованиям выплавки данного сплава и условиям производства. Однако особенности технологии определяют следующие специфические требования к плавильным агрегатам: работа плавильных печей должна быть согласована по времени с циклом прокаливания форм; вместимость плавильных печей должна соответствовать объему полостей одновременно заливаемых форм; для плавки и заливки специальных, в том числе пленообразующих сплавов, следует применять вакуумные печи, обеспечивающие минимальное окисление сплава в процессе плавки и заливки.

Плавка металлов и сплавов характеризуется сложными физико-химическими процессами, протекающими при высоких температурах. Процесс плавки состоит из физических преобразований исходных материалов и химических реакций, в которых участвуют составляющие сплава и флюсы, а также печные газы и футеровка печей. Сущность этих процессов подробно изложена в работах, посвященных теории металлургических процессов и производству сплавов. Здесь приведены только важнейшие сведения об особенностях технологии плавки сплавов, широко применяемых при литье по выплавляемым моделям.

В зависимости от рода футеровки сталеплавильных печей плавку стали ведут основным или кислым процессом. Основная футеровка печей позволяет выплавлять сталь с пониженным содержанием фос-

фора и серы, что достигают применением активных шлаков с высоким содержанием извести.

Фосфор — вредный элемент в стали. Он образует фосфиды железа, вытесняет углерод из карбидов железа, придает стали свойства хладноломкости. Реакции окисления фосфора и дефосфорации идут в расплавленном металле (гомогенная реакция) и на поверхности раздела металл—шлак (гетерогенная реакция).

В печи с основной футеровкой окись кальция связывает пятиокись фосфора в химически устойчивое соединение — тетрафосфат кальция $[(CaO)_4 \cdot n P_2O_5]$, переходящее в шлак.

Сера — также вредный элемент в стали. Сульфиды железа, не растворяясь в твердом растворе, образуют хрупкую эвтектику по границам зерен и вызывают красноломкость стали в интервале температур 800—1200 °С. Процесс удаления серы (десульфурация стали) происходит в присутствии высокоосновного активного известкового шлака при высокой температуре.

Кислая футеровка печей разрушается основным известковым шлаком, поэтому извест при кислой футеровке применяют в ограниченном количестве. Кислые шлаки тугоплавки, малоподвижны. Удалить фосфор и серу в печах с кислой футеровкой практически невозможно. Однако сталеплавильные печи с кислой футеровкой имеют преимущества перед печами с основной футеровкой в долговечности и меньшей стоимости.

Подбирая шихту с малым содержанием серы и фосфора, можно успешно вести плавку в печах с кислой футеровкой. При плавке специальных сталей с высоким содержанием марганца, никеля, титана, алюминия и со строго ограниченным содержанием кремния происходит насыщение сплава кремнием, восстанавливающимся из кислой футеровки, что недопустимо.

При выплавке марганцовистых сплавов кислая футеровка быстро разрушается, так как закис марганца, реагируя с кремнеземом футеровки, образует легкоплавкий силикат марганца. Алюминий и титан восстанавливают кремний из футеровки. Никелевохромовые сплавы, выплавляемые в кислой печи, загрязняются мелкодисперсными включениями кремнезема («кремнистая муть»), которые иногда неразличимы под микроскопом, но, располагаясь между первичными кристаллами, сильно снижают ударную вязкость сплава и ухудшают его пластические свойства. Поэтому такие стали и сплавы плавят в печах с основной футеровкой.

В производстве литья по выплавляемым моделям сталь плавят без окисления, чаще всего методом переплава в электрических индукционных печах.

Для плавки без окисления тщательно рассчитывают шихту и составляют ее из свежего сплава и возврата или при необходимости снижения содержания углерода в стали — из 70—80 % возврата и 20—30 % низкоуглеродистой стали (0,1—0,15 % С; ≤0,02 % Р).

Шихту расплавляют при максимальном нагреве металла. К раскислению приступают после расплавления шихты и доводки стали по химическому составу. При раскислении происходит восстановление

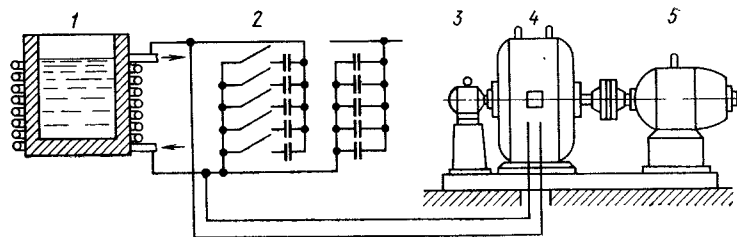


Рис. 7.1. Схема индукционной плавильной печи повышенной частоты с машинным преобразователем

закиси железа, растворенной как в металле, так и в шлаке. Кроме того, раскислители, частично восстанавливающие легирующие элементы, находятся в шлаке в виде окислов. Восстановленные легирующие элементы вновь переходят в металл.

Устройство и работа индукционных печей повышенной частоты. Индукционные плавильные печи повышенной частоты (1000—2500 Гц) широко применяют в цехах литья по выплавляемым моделям. С такой частотой и работают современные установки с машинными и тиристорными преобразователями. На рис. 7.1 приведена схема печи с машинным преобразователем. К трубчатому индуктору, охлаждаемому протекающей внутри него водой, подводят переменный электрический ток, который, проходя по индуктору, создает переменный магнитный поток, пронизывающий футеровку печи и загруженные в тигель куски металлической шихты. Возникающие в металле вихревые токи нагревают шихту до расплавления.

Печи с машинным вращающимся преобразователем состоят из следующих основных узлов: печи 1 с индуктором, конденсаторных батарей 2, возбудителя 3 к преобразователю повышенной частоты 4 электродвигателя 5, вращающего преобразователь, электромонтажной, измерительной, блокировочной и пусковой аппаратуры (на схеме не показаны).

Собственно печь представляет собой каркас с изолирующими прокладками, внутри которого укреплен индуктор. Изолирующие прокладки необходимы для того, чтобы вокруг индуктора каркас печи не образовывал замкнутых контуров, что предотвращает утечку энергии в каркас. Тигель, расположенный внутри индуктора, набивают футеровочной массой по конусному металлическому шаблону. Шаблоны делают из листового железа (сварные). Небольшие шаблоны вынимают из печи после набивки. Шаблоны в печах большой вместимости расплавляются при первой плавке. Каркас печи укреплен на станине и вращается на цапфах, вокруг сливного носка печи. Поворот печи осуществляется электротельфером, гидроприводом или червячным поворотным механизмом с помощью штурвала.

Индуктор печи представляет собой медную трубку в виде катушки с расчетным (по мощности установки) числом витков. По индуктору пропускается переменный электрический ток повышенной

частоты. Внутри индуктор охлаждается проточной холодной водой, что предохраняет его от перегрева и оплавления. Электрический ток и воду подводят к индуктору по гибким кабелям и шлангам, позволяющим осуществлять поворот печи. Со стороны футеровки индуктор защищают, дополнительно используя огнеупорную обмазку и изоляционные листы миканита и асбеста.

Конденсаторы монтируют в батарею. Они позволяют значительно сокращать потребляемую мощность преобразователя и регулировать работу печи на экономичных режимах (регулировать $\cos \phi$ так, чтобы значение его было близким к единице). Часть конденсаторов батареи можно включать в схему по мере необходимости, что позволяет регулировать мощность установки.

На схеме (см. рис. 7.1) приведен вращающийся преобразователь с горизонтальной осью. В последние годы получили распространение преобразователи с вертикальной осью, а также статические (тиристорные) преобразователи с высоким КПД, отсутствием изнашиваемых деталей и т. п. В табл. 7.2 приведены технические характеристики выпускаемых промышленностью индукционных плавильных печей для плавки стали.

Футеровка индукционных печей. Углеродистые стали выплавляют, как правило, в печах с кислой футеровкой. Исходными материалами для кислой футеровки служит кварцит или кварцевый песок и борная кислота.

Большую часть легированных, коррозионно-стойких, специальных сталей и сплавов выплавляют в печах с основной футеровкой. Ниже приведена, как пример, футеровка печи основными материалами. Кислая футеровка выполняется таким же способом. Исходными материалами для основной футеровки служат хромомagneзитовый кирпич (бой), магнезитовый кирпич (бой), заменяющий их металлургический магнезит (порошок), огнеупорная глина, жидкое стекло, борная кислота.

Магнезитовый и хромомagneзитовый кирпич или бой кирпича дробят на щековой камнедробилке, измельчают в бегунах или в шаровой мельнице до величины зерен ≤ 4 мм, затем просеивают через сито № 04. Полученный материал хранят в закрытых ларях в сухом помещении и по мере надобности используют для приготовления футеровочной массы. Огнеупорную глину просушивают при температуре 150—200 °С, измельчают в бегунах и просеивают также через сито № 04. Молотую глину хранят в закрытых ларях.

Применяют футеровочную массу следующего состава: до 95 % магнезита или хромомagneзита; 2—6 % огнеупорной глины и 1,5—2 % борной кислоты или буры. Сначала тщательно перемешивают магнезит, затем добавляют борную кислоту, вновь тщательно перемешивают всю смесь в сухом виде и, добавляя воды (до влажности 3—4 %), опять тщательно перемешивают всю массу. Мешалки могут быть лопастными или шнековыми.

Перед набивкой тигля обязательно проверяют исправность механизма подъема печи, системы водяного охлаждения, изоляции и крепления индуктора. Затем очищают и обдувают индуктор сжатым

Таблица 7.2

Технические характеристики индукционных плавильных печей для плавки стали

Тип печи (вместимость тигля по стали, кг)	Тип преобразо- вателя частоты	Выходная мощность преобразователя, кВт	Частота тока контур- ной цепи, Гц	Номинальное напряже- ние питающей цепи, В	Проводимость по переплаву и пере- греву, т/ч	Расход воды на охлажде- ние, м³/ч			Масса электропечи, т	Число печей в ком- плексе
						индуктора	конденсаторной батареи	преобразова- теля		
ИСТ-0,06 (60)	ВПЧ — 100—2,4	100	2400	380	0,13	1,2	0,6	2,5	1,6	2
	ТПЧ — 100—2,4	100	2400	380	0,13	1,2	0,6	2,0	1,6	2
	ТПЧ — 100—2,4	100	2400	380	0,24	1,8	1,0	2,0	1,6	2
ИСТ-0,16 (160)	ТПЧ — 160—2,4	160	2400	380	0,265	1,8	2,8	4,0	2,0	2
	ОПЧ — 250—2,4	250	2400	380, 600, 3000 или 6000	0,41	2,5	3,8	4,0	2,0	1
	ТПЧ — 320—1	320	1000	380	0,50	3,1	5,5	4,0	2,0	1
ИСТ-0,25 (250)	ОПЧ — 250—2,4	250	2400	380, 600, 3000 или 6000	0,38	2,25	3,3	4,0	2,4	1
	ТПЧ — 320—1	320	1000	380	0,47	2,5	4,8	5,5	2,4	1
	ОПЧ — 500—1	500	1000	3000 или 6000	0,81	3,7	7,5	4,0	3,0	1
ИСТ-0,4 (400)	ТПЧ — 320—1	320	1000	380	0,44	2,9	5,3	4,0	3,0	1
	ОПЧ — 500—1	500	1000	3000 или 6000	0,78	4,0	8,2	5,5	3,0	1

Примечания. 1. ОПЧ — однофазный преобразователь частоты, ВПЧ — вращающийся преобразователь частоты, ТПЧ — тиристорный (статический) преобразователь частоты.

2. Напряжение контурной цепи в печах всех типов 800—1000 В.

воздухом. Для изоляции индуктора можно применять специальную обмазку, состоящую из 80 % шамотного порошка, 20 % глиноземистого цемента и воды (сверх 100 %) до кашеобразного состояния. Слой обмазки продавливают сквозь витки индуктора и заглаживают с внутренней стороны, затем сушат. По внутреннему диаметру индуктор изолируют двумя слоями листового асбеста, который закрепляют пружинными разъемными кольцами. На подину печи укладывают два-три слоя листового асбеста общей толщиной 6—10 мм (рис. 7.2).

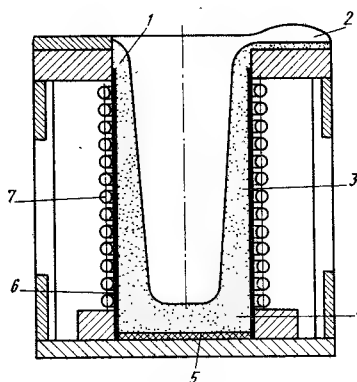


Рис. 7.2. Футеровка индукционной печи повышенной частоты:
1 — верхнее кольцо (воротник); 2 — носок; 3 — стенка тигля; 4 — подина; 5 — асбест; 6 — асбестовая ткань; 7 — индуктор

На листовой асбест, уложенный на подину печи, засыпают футеровочную массу (слой толщиной 100—130 мм) и уплотняют ее трамбовкой равномерно и плотно до такой степени, чтобы трамбовка отскакивала. На этот слой устанавливают металлический шаблон. Поверхность утрамбованного слоя вокруг основания шаблона взрывают и засыпают футеровочную массу в кольцевое пространство между индуктором и шаблоном слоем высотой 20—40 мм. Каждый слой плотно утрамбовывают и затем для связи с последующим слоем взрывают поверхность. Стенки тигля набивают футеровочной массой до верхнего витка индуктора, предварительно вынимая поочередно разжимные кольца. После этого вынимают шаблон или расплавляют его при первой плавке. Иногда стенки тигля смачивают 50 %-ным раствором жидкого стекла в воде. Верхнее кольцо футеровки и носок тигля выполняют из той же футеровочной массы с добавкой 5—10 % жидкого стекла.

В тигель вставляют графитовый стержень, близкий по размеру тиглю, или металлические болванки, и включают печь на мощность 10—40 кВт. Таким образом, в течение 1,5—2 ч происходят сушка и спекание тигля. По окончании этого процесса печь выключают, вынимают графитовый стержень (болванки), продувают тигель сжатым воздухом и проверяют состояние футеровки. При отсутствии трещин в футеровке печь пригодна к плавке. Если в процессе работы печи на футеровке появятся незначительные трещины или размывы, то допускается подмазать их футеровочной массой с жидким стеклом, применяемой для набивки верхнего кольца (воротника).

Перед загрузкой шихты печь очищают от посторонних предметов, проверяют состояние футеровки печи (на отсутствие трещин, размывов и других дефектов) и состояние индуктора (исправность изоляции и водяного охлаждения).

Футеровку тиглей вакуумных печей осуществляют набивкой смесью плавненных магнезита и электрокорунда в соотношении 2 : 1.

Футеровочную смесь составляют из порошков трех фракций, в том числе 10 % размером зерна 4—2 мм, 20 % размером зерна 2—1 мм, остальные размером зерна <1 мм. К основному материалу добавляют 2 % минерализатора (плавиковый шпат), 1 % связующего (борная кислота, декстрин, сульфино-спиртовая барда или патока меласса) и 4 % воды.

Смесь готовят в лопастных мешалках или в смешивающих бегунах. Сначала смешивают тонкозернистую фракцию (размер зерна

<1 мм) с минерализатором, затем последовательно добавляют крупную фракцию (4—2 мм) и среднюю (2—1 мм). После тщательного перемешивания сухую смесь увлажняют водным раствором связующего. Набивку тигля производят по металлическому шаблону, с послойным уплотнением. После набивки тигель просушивают в течение 40—70 мин под током с постепенным повышением мощности от 15 до 50 кВт. Хорошо просушенный тигель прокаливают постепенным нагревом графитового электрода или расплавлением металлического шаблона, после чего проводят промывную плавку, используя отходы жаропрочного сплава.

Стойкость футеровки вакуумных печей с массой плавки 10—20 кг, наиболее часто применяемых в производстве отливок из жаропрочных сплавов, достигает 500—600 плавов. Однако в процессе эксплуатации наблюдаются мелкие растрескивания и разрушения футеровки, частицы которой попадают в жидкий металл и приводят к браку отливок по засорам. Для снижения брака по засорам вместо набивных тиглей целесообразно применять готовые спеченные огнеупорные тигли с ежесуточной их заменой.

Плавка стали в индукционных печах. Плавка в индукционной печи идет быстро, поэтому нет возможности ждать полного экспресс-анализа и по полученным данным корректировать химический состав расплава. Плавку приходится вести, основываясь на расчете шихты. Шлаки имеют низкую температуру и недостаточно активны. По этой причине плавку ведут без окисления, методом переплава, используя чистый металлический скрап, чистый литейный возврат и ферросплавы. Процессы дефосфорации, десульфурации и диффузионного раскисления в таком случае затруднены, поэтому шихтовые материалы необходимо подбирать с малым содержанием серы и фосфора.

Размеры шихтовых материалов подбирают из условий наиболее полного заполнения тигля. Тугоплавкие ферросплавы загружают в более горячую часть печи — в нижнюю часть тигля. Для более плотной укладки промежутки между крупными кусками шихты засыпают мелкими. Плотная укладка шихты способствует ускорению ее расплавления и снижению расхода электроэнергии. В этих же целях печь накрывают крышкой-сводом. Шихтовые материалы не следует загружать выше витков индуктора, так как в этом случае, не пересекаясь силовыми линиями магнитного поля, шихта плавится только за счет теплопередачи; кроме того, высоко загруженная шихта препятствует плотному закрытию печи сводом.

Куски шихты по мере оплавления и опускания вниз могут свариваться между собой, образуя «мост», под который расплав перегревается, что может привести к разрушению футеровки. Заклинившиеся куски шихты следует освобождать, поднимая их клещами вверх, осаживая в то же время освобожденные куски шихты вниз, в расплав. Нельзя загружать холодную шихту, а тем более влажную в расплавленный металл, так как это сопровождается выплеском последнего из печи. Выплески, попадая на куски твердой шихты, также способствуют образованию «мостов».

По мере плавления и оседания шихты в печь добавляют подогретые куски шихты, не поместившиеся при завалке.

Соблюдают следующий порядок введения в сплав легирующих элементов. Никель в процессе плавки не окисляется, поэтому его вводят непосредственно в шихту при загрузке печи. Ранняя загрузка никеля способствует выделению из металла водорода, газов, содержащихся в электролитическом никеле, и воды — в гранулированном никеле. Ферромолибден также дают в завалку.

Вольфрам — тугоплавкий элемент с температурой плавления $\sim 3400^\circ\text{C}$. Для его растворения в расплаве требуется длительное время, сократить которое можно предварительным подогревом вольфрама или ферровольфрама до $900\text{—}950^\circ\text{C}$. Вольфрам — тяжелый металл. Для его растворения необходимо перемешивать нижние слои ванны.

Металлический хром вводят в состав шихты при выплавке сталей с особыми свойствами (жаропрочные, жаростойкие) главным образом в случаях, когда требуется низкое содержание углерода. При выплавке других легированных сталей обычно используют феррохром разных марок. Феррохром вводят в завалку или после расплавления основы сплава. После присадки феррохрома шлак приобретает зеленый цвет благодаря окислам хрома. Раскислители восстанавливают хром из окислов, и шлак после раскисления приобретает светлую окраску.

При выплавке высокохромистых сталей феррохром предварительно подогревают в нагревательной печи, что сокращает продолжительность плавки. Феррохром имеет меньшую объемную массу, чем сталь, поэтому куски его всплывают на поверхность металла. Их периодически осаживают в глубину ванны.

Ванадий легко окисляется, поэтому его вводят в ванну за 5—10 мин до выпуска стали в хорошо раскисленный металл.

Титан окисляется еще более интенсивно, чем ванадий. Его вводят в ванну перед выпуском стали из печи (за 2—3 мин). Так как титан значительно легче стали, то его для лучшего усвоения следует погружать в расплав с помощью специального «колокольчика» или шомпола. Если ферротитан предварительно подогреть и непрерывно погружать при расплавлении в стальную ванну с малым количеством шлака, то можно растворить в стали до 70 % вводимого титана. Если этих мер не принять, усвоение титана составит всего 50—40 %, а иногда и менее.

После расплавления всей шихты наводят шлак. В индукционных печах благодаря выпуклому мениску расплава, пронизываемого магнитными силовыми линиями, шлак стекает к стенкам тигля; его время от времени добавляют, не допуская появления незащищенной шлаком поверхности металла. Шлаковый покров в индукционных печах защищает сплав от насыщения газами, снижает угар элементов и уменьшает тепловые потери. При выплавке стали в печах с кислой футеровкой чаще всего в качестве шлаковой смеси используют бой стекла.

При основной футеровке шлак состоит из 60—80 % свежееобожженной извести, 15—20 % магнезитового порошка и 5—20 % плавикового шпата. Для высокожаропрочных никелевых сплавов применяют также шлак следующего состава: 50 % CaO , 25 % Al_2O_3 ; 18 % MgO и 7 % CaF_2 .

Во время доводки стали в последний период плавки в состав шлака добавляют молотый кокс или электродный бой, ферросилиций или комплексные раскислители — силикокальций, боркальк. От состава шлака зависит стойкость тигля. Высокоосновной шлак проникает в стенки футеровки и реагирует со связующим, вымывая стенки тигля. Кроме того, если шлак имеет такой состав, что при охлаждении он рассыпается на воздухе, ошлакованные стенки тигля при охлаждении печи также могут осыпаться. Поэтому часто доводку сплава ведут со шлаком меньшей основности, например: 50 % SiO_2 , 25 % CaO , 25 % Al_2O_3 .

Общее количество шлака при плавке в индукционных печах составляет $\sim 3\%$ массы металлической шихты. Плавку следует вести на максимальной мощности генератора и настраивать электрический режим на резонанс ($\cos \varphi \approx 1$). Настройку режима ведут включением конденсаторов необходимой емкости. Эта необходимая емкость в течение плавки меняется вследствие изменения магнитной проницаемости металла при его нагреве и расплавлении, а также при добавках твердой шихты. Плавление шихты заканчивают на максимальной мощности генератора, а доводку сплава по химическому составу обычно ведут на меньшей мощности.

При выплавке стали в печах вместимостью 150—250 кг после полного расплавления металла берут пробу для экспресс-анализа на углерод и марганец в основной печи и на углерод и кремний в кислой печи. В ожидании анализа снимают шлак, образовавшийся при плавлении, и наводят новый шлак того же состава.

При плавке в печах вместимостью 10—50 кг экспресс-анализ обычно не делают вследствие быстрого протекания процесса плавки. В этом случае состав шихты не корректируют, а ведут плавку точно по расчету, строго выдерживая время и электрический режим плавки. В печах малой емкости ввиду трудности наведения шлака при очень выпуклом мениске расплава покровным шлаком обычно не пользуются. Плавку ведут без шлака.

После получения анализа, если сплав надо науглеродить, снимают шлак и на зеркало расплава засыпают мелко дробленый электродный бой или древесный уголь, после чего наводят новый шлак. В этом случае коэффициент усвоения углерода составляет 70—80 %. Науглероживание стали лучше вести, применяя углеродистый феррохром или чугуны, а не древесный уголь или электродный бой, так как в последнем случае время плавки увеличивается.

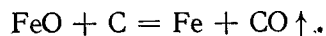
Марганец вводят в расплав, исходя из среднего содержания его (по заданному химическому составу сплава). При хорошо отлаженной технологии плавки для экономичной работы легирующие элементы вводят в расплав с учетом усвоения на нижнем пределе химического состава.

Во всех случаях доводку стали по составу следует проводить в печи, а не в ковше, как это иногда пытаются делать.

Перед взятием пробы на химический анализ следует тщательно перемешивать ванну на всю глубину.

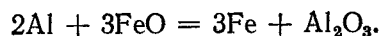
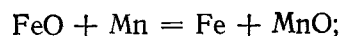
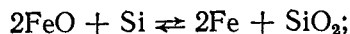
В качестве раскислителей применяют углерод, кремний, марганец, титан (или их ферросплавы), алюминий, карбид кальция, а также комплексные раскислители: силикокальций, силикомарганец, алюмобарийкальций и др. При диффузионном раскислении раскислители вводят в шлак в молотом виде или в порошке (алюминий).

Раскисление углеродом идет по реакции



Побочным веществом при раскислении углеродом является газ, а это значит, что металл не загрязняется неметаллическими соединениями. Раскисление углеродом связано и с некоторыми недостатками: возможно науглероживание сплава, диффузионный процесс раскисления углеродом длителен.

Раскисление кремнием, марганцем и алюминием идет по реакциям



Кремний — сильный раскислитель, но с повышением температуры его раскисляющая способность снижается.

Марганец значительно слабее раскисляет сталь, чем кремний. Одним марганцем полностью раскислить сталь нельзя. Закись марганца нерастворима в стали и переходит в шлак. С серой марганец образует более тугоплавкое соединение, чем железо. Сернистый марганец полностью переходит в шлак и металл освобождается от сернистых соединений.

Для окончательного раскисления используют силикокальций (до 0,1 %), который изменяет характер включений в стали (строчечные включения он превращает в глобулярные).

Раскисление металла для больших плавов (>100 кг) можно проводить диффузионным методом, вводя в шлак молотый кокс, ферросилиций или комплексные раскислители (силикокальций, боркальк). Шлак при этом быстро получает светную окраску. Раскислению способствует интенсивное движение металла при индукционной плавке, но используя хорошую циркуляцию металла, можно раскислять сталь и кусковыми раскислителями, что чаще делают при работе на печах малой емкости. Циркулирующие потоки металла выносят продукты раскисления на поверхность, где окислы переходят в шлак.

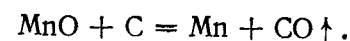
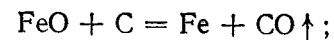
При диффузионном раскислении применяют различные шлаки в зависимости от химического состава стали и устройства печи. Конструкционные углеродистые стали с содержанием менее 0,3 % С

раскисляют под белым шлаком, среднеуглеродистые и высокоуглеродистые под карбидным шлаком, коррозионно-стойкие — под магнезиально-глиноземистым шлаком.

Перед наведением белого шлака скачивают окислительный шлак, в ванну присаживают ферромарганец из расчета на верхний предел содержания в сплаве, затем наводят высокоосновной шлак, состоящий из 80 % извести и 20 % плавикового шпата. Количество шлака зависит от вместимости печей и составляет 2—3 % массы завалки для печей большой вместимости и 3—7 % — малой.

Для раскисления в шлаковую смесь вводят молотый кокс или древесный уголь, обладающий меньшей массой и меньше науглероживающий сталь.

Углерод в шлаке раскисляет закись железа и марганца по реакциям



Перед раскислением шлак темного цвета (присутствуют окислы железа и марганца), в процессе раскисления он светлеет. Для окончательного раскисления вводят дробленый 75 %-ный ферросилиций так, чтобы его частицы оставались взвешенными в шлаке и не переходили в металл. Количество ферросилиция должно быть равно количеству вводимого в шлак углерода. После окончательного раскисления шлак становится белым пенящимся. Хороший шлак при остывании рассыпается на воздухе в порошок.

Раскисление металла в печах малой вместимости (до 50 кг) ведут твердым раскислителем (предпочтительно силикокальцием из расчета 0,2—0,3 % массы шихты). В этом случае шлак не наводят. В процессе раскисления тигель закрывают железным листом из-за большого пироэффекта.

Повышение качества сталей и сплавов в процессе их плавки и заливки. Большую часть сталей для литья по выплавляемым моделям в металлургической промышленности выплавляют в печах с кварцевой (кислой) футеровкой. Содержание серы и фосфора в этих сталях более высокое, чем в сталях, выплавленных в печах с основной футеровкой. Эти стали загрязнены также неметаллическими включениями (сульфиды, фосфиды и др.), снижающими их механические свойства, особенно пластичность. Для обеспечения высокой ударной вязкости высококачественных отливок содержание серы и фосфора в них должно быть не более 0,01 %. Между тем в выпускаемых металлургической промышленностью сталях, используемых в качестве шихтовых материалов при литье по выплавляемым моделям, содержание серы и фосфора допускается до 0,025 и даже 0,05 %. Для подавления влияния вредных примесей, при плавке следует применять модификаторы, которые видоизменяют особенно неблагоприятную остроугольную форму фосфидов, оксидов и сульфидов, очищают границы зерен и упрочняют сталь.

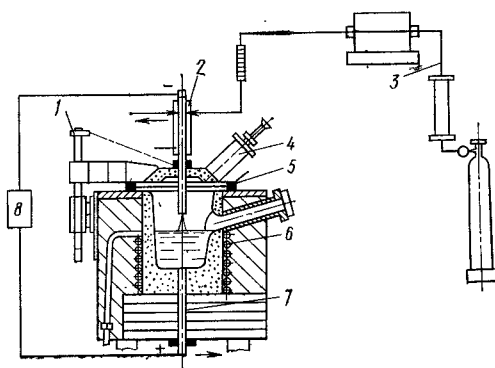


Рис. 7.3. Схема плазменно-индукционной плавильной установки:
1 — механизм перемещения плазматрона; 2 — плазматрон; 3 — подача аргона; 4 — герметизированный люк; 5 — крышка (свод); 6 — индуктор печи; 7 — водоохлаждаемый анод; 8 — источник питания

Хорошим модификатором является силикокальций в сочетании с РМЗ, при введении которых в 2 раза повышается ударная вязкость стали [111, 112].

Значительное повышение качества сталей и сплавов достигают также применением плазменно-индукционной плавки при которой благодаря дополнительному нагреву верхней части ванны сокращается время плавки. Одновременно повышается чистота металла, производительность печей и снижается удельный расход электроэнергии [9].

В ИПЛ АН УССР разработана и испытана на ряде заводов плазменно-индукционная установка [9], изготовленная на базе печи ИСТ-0,16, к которой сделана плазменная приставка, представляющая собой водоохлаждаемую футерованную крышку (свод), установленную в верхней части печи на уплотнительном кольце (рис. 7.3). На крышке смонтирован плазматрон с механизмом его перемещения. Для загрузки шихты в процессе плавки, ввода легирующих добавок и наблюдения за ходом плавки в крышке предусмотрен герметизированный люк со стеклом. В дно тигля вмонтирован водоохлаждаемый анод. К плазматрону подведены системы охлаждения и газоочистки. Питание плазматрона осуществляется от управляемого источника постоянного тока типа ВПР-602. В качестве плазмообразующего газа используют технически чистый аргон (ГОСТ 10157—79), предварительно очищенный от влаги, кислорода и азота.

Известно, что свойства отливок в большой степени зависят от ориентации и величины зерен в литой структуре. Качество отливок можно повысить, осуществляя регулирование структуры металла в процессе заливки формы и ее охлаждения, так называемую, контролируемую кристаллизацию [90, 18]. Для этих целей в плавильно-заливочных вакуумных установках, дополнительно к плавильным печам помещают индукционные нагревательные печи для форм. Прокаленные формы устанавливают в печь нагрева формы и, в процессе плавки металла и заливки его форма не остывает, а нагревается до заданной температуры и даже до температуры заливаемого расплава. Контролируемую (направленную) кристаллизацию отливок можно вести по нескольким вариантам технологического процесса, рассмотренным ниже.

1. Применяют тонкостенную прочную оболочку форму без опорного наполнителя, которую нагревают до 1000—1050 °С, заливают расплавом при температуре 1480—1500 °С и выдерживают в нагревательной печи до 800—850 °С. При достижении этой температуры отливку переносят в термостат с температурой 600—650 °С, где выдерживают до 300 °С с последующим охлаждением на воздухе. При таком режиме получают поликристаллическую структуру отливки с минимальными остаточными напряжениями, но со сравнительно крупной макроструктурой.

2. При изготовлении оболочковой формы в поверхностный слой формы вносят мелкодисперсные окислы, являющиеся модификаторами — центрами кристаллизации, и затем эту форму нагревают, заливают расплавом и охлаждают по варианту 1. В этом случае получают более мелкую макроструктуру в поверхностном слое отливки. Ее можно регулировать количеством модификатора и его дисперсностью.

3. Оболочковую форму нагревают до температуры заливки расплава. После заливки нижнюю часть формы (отливки) искусственно охлаждают и постепенно с заданной скоростью форму с отливкой выводят вниз из зоны нагревательной печи. Происходит направленная снизу вверх кристаллизация отливки, которая приобретает поликристаллическую или монокристаллическую структуру, ориентированную вертикально по всей высоте. При этом резко возрастают пластические свойства металла, надежность и длительность эксплуатации отливок.

В табл. 7.3 приведены свойства сплава ММ 200, отлитого по различным вариантам технологии.

Таблица 7.3

Свойства различных модификаций сплава ММ 200

Свойства	Сплав ММ 200			
	обычный	ММ 246 (модификация)	направленной кристаллизации	в виде монокристалла
При $t_{\text{л}} = 760^\circ\text{C}$				
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	949	1055	1055	1055
δ , %	3	4	6	12
Жаропрочность τ , ч (при 700 МПа)	5	30	380	250
Ползучесть $\sigma_{1,0/100}$ (при 700 МПа)	—	30	3	5
При $t_{\text{л}} = 982^\circ\text{C}$				
Жаропрочность τ , ч (при 210 МПа)	40	36	105	105
Ползучесть $\sigma_{1,0/100}$ (при 210 МПа)	30	10	45	45
Термическая усталость	Хорошая		Очень хорошая	Отличная
Стоимость	Обычная		Высокая	Очень высокая

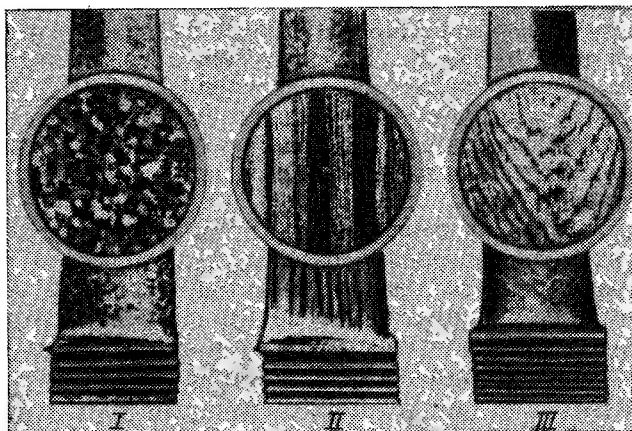


Рис. 7.4. Макроструктура отливок с регулируемой кристаллизацией: I — поликристаллическая структура; II — направленная (продольно-ориентированная) структура; III — монокристаллическая структура

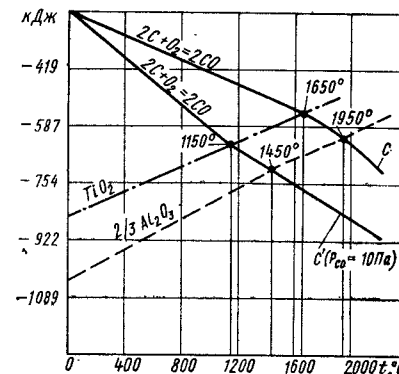
По пластичности и термической усталости сплавы с направленной кристаллизацией по сравнению с поликристаллическими сплавами имеют очень большие преимущества, что объясняется отсутствием поперечных границ зерен. Но медленная кристаллизация способствует образованию рыхлот в отливках. Нет преимуществ в ползучести. Получение отливок с контролируемой кристаллизацией трудоемко и сложно, поэтому отливки пока очень дороги.

4. Оболочковую форму устанавливают в графитовую опоку с дом и засыпают графитовой крошкой. Опоку помещают в печь и нагревают до температуры заливки металла. После заливки форму выдерживают в печи до полного заполнения расплавом междендритных пустот. Затем форму с заданной скоростью опускают из нагревательной печи и она остывает на воздухе, либо в термостате по заданному режиму. В результате получают тонкостенную плотную фасонную отливку с однонаправленным затвердеванием металла во всех стенках. При этом наблюдается некоторое повышение прочности и резкое повышение пластичности.

На рис. 7.4 приведена макроструктура отливок с регулируемой кристаллизацией.

Плавка специальных сплавов в индукционных вакуумных печах. Наиболее высокими жаропрочными свойствами, необходимыми для производства литейных турбинных лопаток, обладают литейные сплавы на никелевой основе типа ЖС. Основным методом получения лопаток из этих сплавов является литье по выплавляемым моделям. Однако указанные сплавы из-за большого содержания алюминия и титана легко окисляются и образуют в процессе плавки и разливки плотные окисные пленки, которые, попадая в отливки, нарушают сплошность

Рис. 7.5. Свободные энергии образования окислов металлов для реакций, выраженных на 1 г. моль кислорода



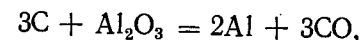
материала и снижают прочность лопаток. Величина окисных плен и их расположение в отливках самые разнообразные. Наличие окисных плен на поверхности пера лопаток, а также на их кромках, как правило, является признаком брака.

Окисные пленки образуются при температуре до 1700 °C как во время приготовления исходного сплава и разливки его в изложницы, так и во время приготовления рабочего сплава и разливки его в формы при отливке лопаток. Избежать образования окисных плен можно обработкой жидкого расплава раскислителями, плавкой и разливкой в вакууме или в нейтральной среде.

Плавка жаропрочных литейных сплавов, содержащих алюминий и титан, в вакуумных индукционных печах повышенной частоты находит все большее применение. По своему сродству к кислороду алюминий уступает лишь магнию и кальцию. Вакуум благоприятствует любой химической реакции, в ходе которой из нелетучих веществ образуются газы или летучие вещества, в результате чего понижается температура и становится возможным протекание данной реакции.

На рис. 7.5 приведены изменения свободных энергий образования окислов титана и алюминия в зависимости от температуры.

В атмосферных условиях углерод может начать раскисление окислов титана при температуре 1650 °C, а окислов алюминия при 1950 °C. С понижением давления раскислительная способность углерода повышается и при разрежении 10 Па температура начала раскисления снижается примерно на 500 °C, т. е. окислы титана раскисляются углеродом при температуре 1150 °C, а окислы алюминия при 1450 °C. Опыт плавки жаропрочных сплавов в вакуумных печах при разрежении 1—4 Па подтверждает раскисляемость окислов алюминия (плены) при температуре 1550—1650 °C по реакции



при этом окись углерода улетучивается. Технические характеристики вакуумных индукционных печей приведены в табл. 7.4.

При использовании печей периодического действия (см. табл. 7.4) после каждой плавки и заливки вакуумная камера сообщается с атмосферой и откатывается. Залитую форму снимают с печи, очищают тигель, вновь загружают шихту, устанавливают новую форму, камеру накачивают и начинают вакуумирование тигля, шихты и формы.

Таблица 7.4

Технические характеристики индукционных вакуумных печей для плавки и заливки форм

Параметр	Тип печи	
	ИСВ-0,04 ПФ-И2 *	ИСВ-0,16 НФ-И1 *
Номинальная емкость тигля (по стали), т	0,04	0,16
Установленная мощность, кВт·А	250	525
Мощность питающего преобразователя, кВт	120	250
Частота, Гц:		
контура	2400	2400
питающей сети	50	50
Напряжение, В:		
контура	500	300
питающей сети	380	380
цепей управления	220	220
сигналов цепей	220/380	220/380
Максимальная температура расплава в тигле, °С	1650	1700
Среда в рабочем пространстве (плавильная камера)	Вакуум или нейтральный газ	
Предельное разрежение в холодной печи, Па	5·0,133	5·0,133
Максимально допустимое избыточное давление нейтрального газа, кПа	10	10
Производительность по расплавлению и перегреву, т/ч	0,12	0,21
Удельный расход электроэнергии на расплавление и перегрев, кВт·ч/т	1100	2000
Габаритные размеры форм, м:		
ширина × длина	0,5×0,6	0,7×1,6
высота	1,0	1,0
Масса электропечи, т	10	30
Вместимость (по стали) сменных индукторов, которыми дополнительно комплектуются печи, т	0,01 и 0,025	0,06 и 0,1

* П — периодического действия; Н — непрерывного действия.

Таким образом, вакуумная система работает нерационально на восстановление утерянного вакуума. Кроме того, происходит потеря теплоты и резкое изменение температуры тигля, снижающее стойкость футеровки, а также окисление остатков расплава на стенках тигля. Образуются так называемые настывы, что загрязняет жидкий металл последующих плавов и снижает качество отливок.

Для устранения отмеченных недостатков выпускают вакуумные установки полупрерывного действия на различную вместимость тиглей (см. табл. 7.4). В этих установках кроме индукционной печи для плавки металла имеется печь сопротивления для подогрева формы до 900 °С.

Особенности плавки сплавов для постоянных магнитов. Содержание примесей, особенно углерода, в шихтовых материалах должно быть минимальным. В магнитных сплавах должно быть не более 0,03 % С; 0,35 % Мп, 0,15 % Si, 0,025 % S и 0,025 % Р. В сплаве ЮНДК18 содержание 0,1 % С снижает остаточную индукцию на

20 %, коэрцитивную силу на 40 % и максимальную магнитную энергию на 50 %.

Для получения высококачественных магнитов необходимо применять следующие шихтовые материалы: низкоуглеродистую электротехническую сталь (железо армо) марок ЭА и Э в виде прутков или листов; никель марок Н-0 и Н-1 в виде катодных листов или слитков по ГОСТ 849—70; кобальт марок К0 и К1А в чушках по ГОСТ 123—78; алюминий первичный марок А95, А7, А6, А5 в чушках по ГОСТ 11069—74; медь марок М0 и М1 в виде катодных листов по ГОСТ 546—79; возврат и отходы магнитного сплава (литники, брак магнитов по внешним дефектам и др.).

Количество отходов, вводимых в плавку, должно быть не более 40 % массы шихты.

Исходные шихтовые материалы подлежат разделке только в холодном состоянии. Газовая резка шихтовых материалов не допускается. Возврат и отходы, поступающие на плавку, должны быть очищены от формовочных материалов, а также от окислов, масляных пятен и других загрязнений. Кроме основных шихтовых материалов в сплав часто добавляют сернистое железо с целью измельчения структуры и упрочнения сплава. При плавке сплава ЮНДК18 сернистого железа обычно добавляют 0,3 % массы шихты.

Магнитные сплавы выплавляют в высокочастотных индукционных печах с кислотой или основной футеровкой. Для получения магнитов со стабильными свойствами плавку следует вести форсированно; скорость расплавления всей шихты данной плавки 0,7—1,2 кг/мин. Чтобы сократить продолжительность плавки, шихтовые материалы подбирают оптимальных размеров в зависимости от емкости плавильного тигля (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Размеры шихтовых материалов в зависимости от вместимости тигля

Вместимость плавильного тигля, кг	Размеры прутков железа, мм		Масса чушек кобальта, кг	Размер заготовки, мм		Масса чушки алюминия, кг
	диаметр	длина		никеля	меди	
10—20	15—20	110—130	0,9—1,5	30×100	30×100	0,8—1,1
20—30	20—35	150—200	1,5—2,5	60×160	60×150	1,1—2,4
30—50	20—50	200—230	2,5—4,0	80×250	80×250	2,5—4,0

Рекомендуется также подогревать до температуры 300—400 °С никель, медь и алюминий перед загрузкой в плавильный тигель. Загрузку и плавку шихтовых материалов необходимо вести в определенной последовательности: при плавке в кислот тигле загружают битое стекло (2 % массы шихты), затем железо, кобальт. Включают ток и ведут плавку на максимально возможной мощности печи. После расплавления большей части железа и кобальта в тигель загружают никель, медь и сернистое железо, а потом возврат (литники и другие отходы). Во время расплавления шихты ванна должна быть все время покрыта шлаком.

Таблица 7.6

Основные характеристики поворотных тигельных печей сопротивления САТ

Тип печи	Вместимость тигля, кг	Мощность трансформатора, кВт	Масса металлической конструкции печи, кг	Габаритные размеры (длина, ширина, высота), м
САТ-0,15А	150	40	960	1,75×1,34×2,30
САТ-0,25А	250	60	1170	1,87×1,44×2,38
САТ-0,50А	500	80	1570	2,0×1,59×2,62

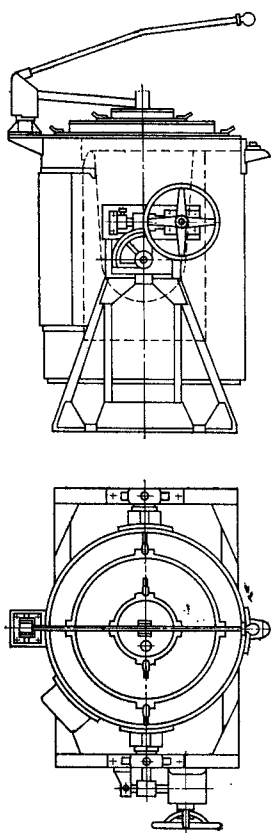
После расплавления всей загруженной шихты и некоторого перегрева расплава снимают шлак и быстро загружают крупные куски алюминия. Затем ванну тщательно перемешивают (штангой из электротехнической стали) и, выдержав 2—3 мин, снимают вновь образовавшийся шлак и готовый расплав сливают в ковш, предварительно подогретый до 700—850 °С. Перед выпуском расплава температура его должна быть 1550—1600 °С. Температуру измеряют

термопарой погружения. Сильный перегрев расплава приводит к получению хрупких магнитов, выкрашивающихся при шлифовании.

Плавка алюминиевых сплавов. В производстве литья по выплавляемым моделям из алюминиевых сплавов обычно применяют плавильные печи вместимостью 0,15—0,50 т, к ним относятся и электропечи сопротивления типа САТ (тигельные) (табл. 7.6, рис. 7.6).

Для плавки алюминиевых сплавов применяют также более экономичные индукционные печи промышленной частоты с железным сердечником, которые работают по принципу своеобразного короткозамкнутого трансформатора: первичная обмотка — многовитковая катушка (индуктор), а вторичная — расплавленный металл в каналах. Работу на этих печах следует вести непрерывно. В перерывах между плавками в печи должен обязательно оставаться расплав («болото») в таком количестве, чтобы плавильные каналы замыкались. В это время печь работает на мощности холостого хода, которая в 5—6 раз меньше номинальной мощности.

Рис. 7.6. Поворотная тигельная печь типа САТ



Для алюминиевых сплавов минимальной по полезной вместимости является индукционная канальная печь ИА-0,5 (рис. 7.7).

Печи ИА-05, снабжены гидравлическим механизмом с плунжерами для поворота. Расплав сливают при наклоне печи через сливной носок.

Индукционные электропечи ИА-0,5 применяют для непрерывной работы. Пусковой период включая время на футеровку печи длится 1—1,5 мес, поэтому в эксплуатации должно быть не менее двух печей. Стойкость футеровки канальной части печей ИА-0,5 выполненной из шамотно-кварцовой массы, 2000—3000 плавов. В процессе работы каналы печи зарастают окисью алюминия, их приходится систематически прочищать 1—2 раза в смену специальным инструментом (трубы, ерши и г. д.). Полная вместимость каналов 0,3 т и рабочей ванны 0,5 т. Номинальная мощность печи 125 кВт, мощность трансформатора 180 кВт. Удельный расход электроэнергии 450—445 кВт·ч/т. Продолжительность плавки 2 ч. Мощность холостого хода 22 кВА. Выдача расплава может производиться в заданном темпе до 250 кг/ч.

Целесообразно применять индукционные тигельные печи (ИПА-250 и ИПА-500) промышленной частоты вместимостью 250 и 500 кг, которые хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации (табл. 7.7).

Таблица 7.7

Технические характеристики индукционных тигельных печей ИПА-250 и ИПА-500 для плавки алюминиевых сплавов и печи ИПМ-350 для плавки магниевых сплавов

Параметр	ИПА-250	ИПА-500	ИПМ-350
Средняя мощность печи, кВт	70	120	100
Мощность конденсаторных батарей, кВ·А	190	320	420
Средняя сила тока сети, А	270	400	260
Емкость тигля, кг	250	500	350
Время плавки в горячем тигле, мин	110	110	100
Производительность печи, кг/ч	136	273	210
КПД, %	70	75	83
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	450	400	450
Габаритные размеры печи (длина, ширина, высота), м	1,5×2,0× ×1,6	1,5×2,0× ×2,0	1,25×1,25× ×1,5

Примечание. Частота питающего тока 50 Гц; напряжение на индукторе печи питающей сети и конденсаторной батареи 380 В.

На рис. 7.8 показана тигельная индукционная печь промышленной частоты. Печь состоит из толстостенного тигля с крышкой, индуктора, теплоизоляции и магнитопровода. Тигель установлен в каркас печи, который поворачивается гидравлическим подъемником. Нагрев и плавка шихты происходят за счет теплоты, индуктированной в материале шихты, и теплоизлучения тигля, нагреваемого индуктивными токами. Благодаря этому, удельный расход электро-

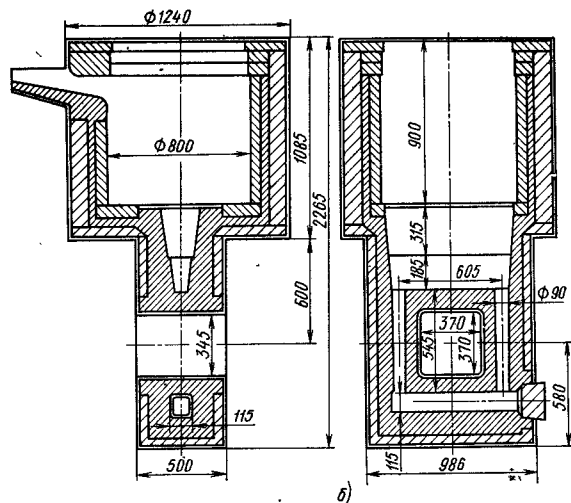
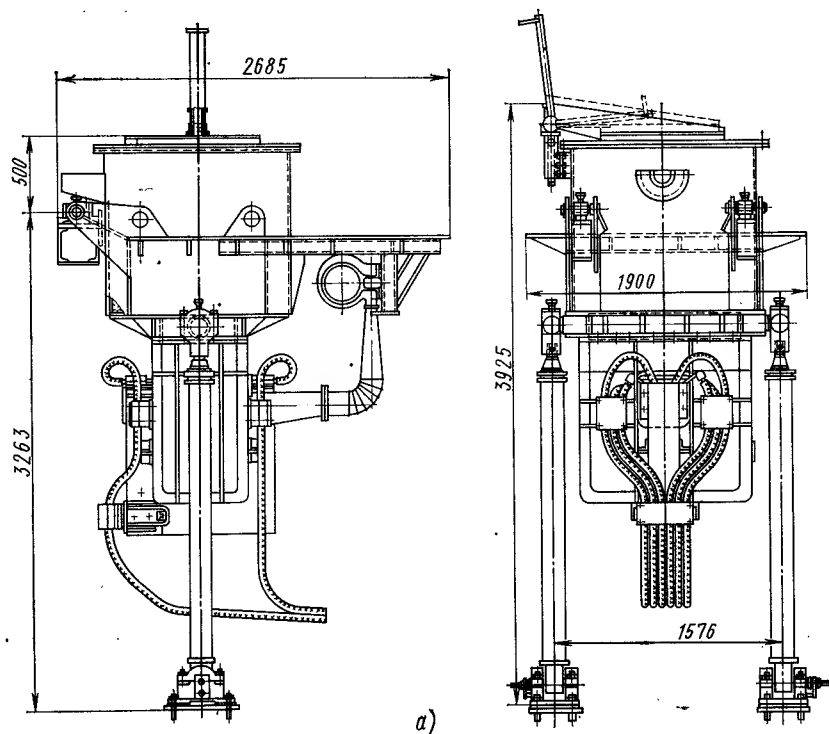
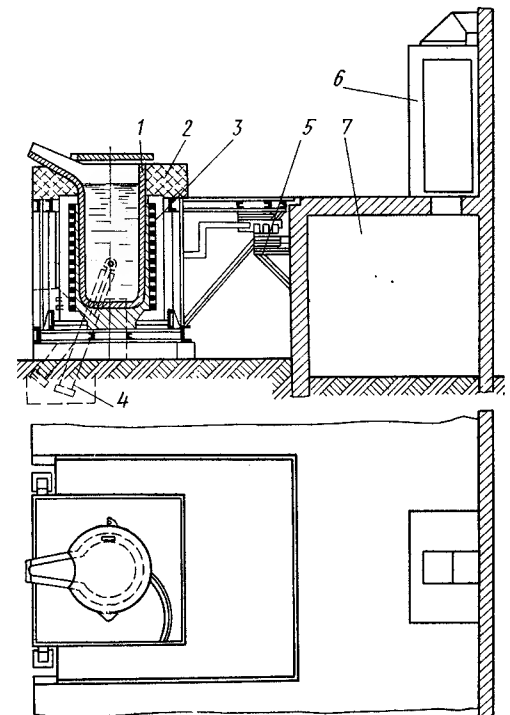


Рис. 7.7. Печь ИА-0,5:
а — общий вид; б — футеровка

Рис. 7.8. Индукционная тигельная электропечь промышленной частоты для плавки легких сплавов:

1 — тигель; 2 — тепловая изоляция; 3 — индуктор; 4 — гидравлический подъемник; 5 — узел присоединения печи; 6 — щит управления; 7 — помещение для конденсаторов



энергии значительно сокращается. КПД таких печей очень высок и достигает 0,85.

При плавке алюминиевых сплавов применяют чугунные тигли. В печах типа ИПА можно также плавить медные сплавы, но в графитовых тиглях.

Использование чугунных тиглей при плавке приводит к насыщению алюминиевых сплавов железом вследствие растворения стенок тигля. Во избежание этого чугунные тигли в подогревом до 150 °С состоянии покрывают защитными красками, которые снижают степень насыщения железом алюминиевых сплавов. Чтобы полностью исключить насыщение алюминиевых сплавов железом и снизить эксплуатационные расходы, связанные с заменой чугунных тиглей, на ряде промышленных предприятий для индукционных печей типа ИПА внедрены тигли из жаростойкого бетона.

Бетон состоит из шамотно-магнезитовой крошки, скрепленной жидким стеклом и кремнефтористым натрием. Твердение этого бесцементного бетона происходит в результате физико-химических процессов, протекающих при взаимодействии составляющих смеси. При этом образуются форстерит и кордиерит, связывающие все компоненты в однородную прочную массу.

Приготовление алюминиевых сплавов заключается в сплавлении алюминия с другими металлами. В разогретую печь загружают шихтовые материалы по расчету, в следующем порядке: возврат сплава (литники, бракованные детали и слески), исходные металлы (алюминий, силумин, магний) и лигатуры (промежуточный сплав). Сильно угорающие элементы (магний, цинк) вводят в сплав в последнюю очередь. Такой порядок загрузки позволяет вести плавку форсированно, не перегревая сплав; тем самым снижается угар компонентов и повышается качество сплава.

Состав универсальных флюсов

Номер флюса	Содержание, %				Температура, °C	
	фтори- стый натрий	хлористый натрий	хлористый калий	криолит	плавле- ния	минимальная модифициро- вания
1	60	25	—	15	850	750
2	40	45	—	15	780	730
3	30	50	10	10	730	710

Алюминиевые сплавы легко окисляют. В процессе плавки на поверхности расплава образуется прочная окисная пленка, защищающая сплав от дальнейшего окисления. Во время плавки перемешивать расплав не следует, чтобы не разрушать окисной пленки. Добавки вводят осторожно, сдвинув пленку с части поверхности металла. Алюминиевые сплавы интенсивно поглощают и растворяют газы, особенно водород, что приводит к газовой пористости в отливках. Поэтому все шихтовые материалы хранят в сухом помещении и вводят в печь в сухом виде и даже слегка подогретыми. Индукционные печи с железным сердечником футеруют смесями, в которые входят молотый фарфор или шамот (50—55 %), глина огнеупорная (30—40 %) и барит в порошке или плавиковый штап (9—12 %).

Для уменьшения зарастания окисью алюминия каналы выполняют из графитовых электродов или путем обклейки шаблона при футеровке специальными графитовыми пластинами. Для предупреждения образования пористости и исключения неметаллических включений алюминиевые сплавы подвергают дегазации и рафинированию в жидком состоянии. Для этих целей применяют продувку расплава хлором, обрабатывают гексахлорэтаном или хлористыми солями (хлористый цинк, хлористый марганец и хлористый алюминий). Предварительно соли обезвоживают переплавкой и до использования хранят в электрошкафу при температуре 120—150 °C.

Для повышения механических свойств, особенно пластичности, алюминиевые сплавы, содержащие ≥ 5 % Si с грубой структурой подвергают модифицированию (искусственное измельчение структуры).

При литье по выплавляемым моделям, когда процесс кристаллизации замедлен из-за повышенной температуры формы (100—300 °C), получают отливки с крупнокристаллической структурой и относительно низкими механическими свойствами. В таких случаях рекомендуется модифицирование расплава введением в него небольшого количества натрия. Для этого используют хлористые и фтористые соли натрия. Сначала расплав рафинируют, а затем модифицируют. Опыт показал, что во время модифицирования двойным (34 % NaCl + 66 % NaF) или тройным (62,5 % NaCl + 25 % NaF + 12,5 % KCl) модификатором расплав вновь насыщается газами и неметаллическими включениями. Во избежание этого, а также для ускорения и удешевления процесса плавки применяют так называемый универсальный флюс, который одновременно рафинирует и модифицирует расплав. Универсальный флюс растворяет, переводит в прозрачный расплав 1,2—1,6 % (по массе) Al_2O_3 , адсорбирует 6—12 % Al_2O_3 и дегазирует расплав активнее хлористого цинка. Так как заливку разных отливок производят при различных температурах, применяют три состава универсального флюса, приведенные в табл. 7.8.

Рафинируют и модифицируют расплавы универсальным порошковым флюсом следующим образом. Соли, входящие в состав флюса, предварительно сушат при 200—250 °C в течение 3 ч. Высушенные соли смешивают в бегунах или в шаровой мельнице до получения

однородной смеси. Готовый флюс, предварительно нагретый до 250—300 °C, вводят в количестве 0,75—1,0 % на струю расплава, подаваемого в разливочный ковш (при заполнении его). По истечении 2—4 мин после заполнения ковша расплав тщательно очищают и затем заливают в формы. Еще более эффективно действие универсального флюса в жидком состоянии. Для расплавления флюса применяют трехфазную дуговую печь с центральным нагревом солей (рис. 7.9).

Рафинируют и модифицируют расплав жидким универсальным флюсом следующим образом. В нагретый разливочный тигель на небольшой слой расплава мерной ложкой заливают жидкий флюс в количестве 0,3—0,5 % массы расплава и заполняют тигель расплавом. При этом флюс всплывает. Проходя через весь расплав флюс взаимодействует с ним, дегазируя, рафинируя и модифицируя расплав. С момента заполнения тигля расплав выдерживают в течение 3 мин, после чего флюс снимают с зеркала расплава и последний разливают в формы.

Плавка магниевых сплавов. Магний и его сплавы при нагреве на воздухе окисляются и загораются, поскольку окисная пленка магния рыхлая и не защищает его от дальнейшего окисления. Поэтому плавку магниевых сплавов надо вести под защитой флюсов или с добавкой 0,01—0,02 % Be. В цехах литья по выплавляемым моделям для плавки магниевых сплавов рекомендуется применять индукционные тигельные печи промышленной частоты ИПМ (рис. 7.10) с вставным стальным тиглем (см. табл. 7.7). Магниевые сплавы готовят в два приема: сначала предварительный сплав, в затем рабочий сплав.

В раскаленном тигле расплавляют флюс ВИ-2 в количестве 1—2 % массы шихты, затем в него загружают чушковый магний, алюминий, лигатуру и расплавляют шихту. Расплав нагревают до 680—700 °C и вводят в него легирующие низкоплавкие элементы (в зависимости от состава сплава). Затем расплав доводят до температуры 700—720 °C и рафинируют его флюсами с перемешиванием в течение 5—6 мин. С поверхности расплава снимают шлак и загрязненный флюс, наносят свежий флюс, повышают температуру расплава до 750—780 °C и выдерживают при этой температуре 12—15 мин, чтобы расплав отстоялся. После этого берут пробы на анализ

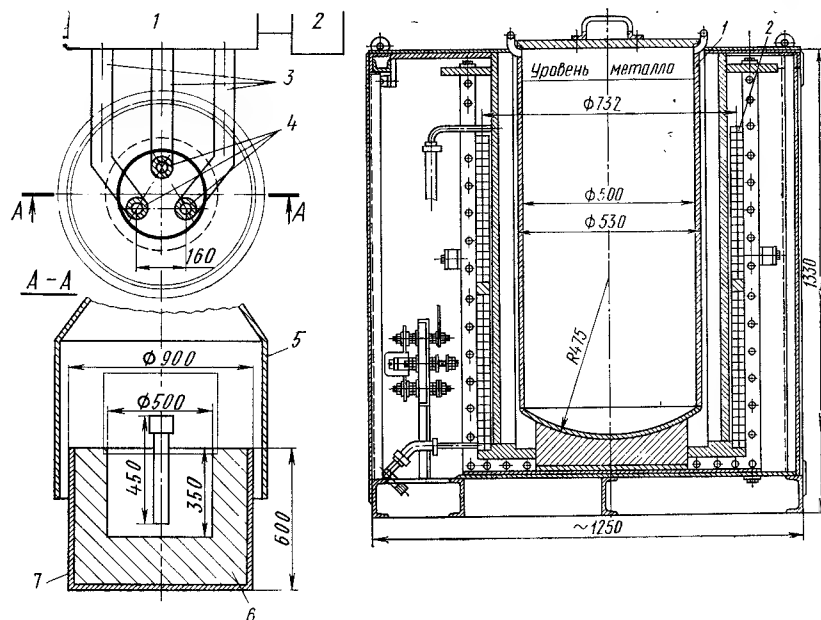


Рис. 7.9. Схема дуговой электропечи для плавки универсального флюса: 1 — трехфазный трансформатор 380/24; 2 — щит управления; 3 — шины; 4 — графитовые электроды; 5 — вытяжной зонит; 6 — футеровка из шамотного кирпича; 7 — каркас печи

Рис. 7.10. Схема индукционной тигельной печи промышленной частоты для плавки магниевых сплавов: 1 — стальной тигель; 2 — индуктор

химического состава, охлаждают расплав до 700—680 °С и разливают в изложницы. Тигель очищают от остатков флюса, шлака и других загрязнений и готовят к следующей плавке.

Рабочий сплав в тигельной печи готовят так же, как предварительный сплав, только в шихту для рабочего сплава кроме чушковых свежих металлов и лигатур загружают отходы данного сплава. После нагрева расплав модифицируют углеродсодержащими материалами (мел, мрамор, магнезия) и рафинируют флюсом ВИ-2, затем охлаждают до температуры заливки и разливают в формы. При этом сливают не весь расплав, 10—15 % остается в тигле и его сливают в изложницы. Тигель очищают и готовят к следующей плавке.

Плавка титановых сплавов. Вследствие большого сродства титана к кислороду и образования нитридов титана при нагреве его в воздушной среде плавка титана и его сплавов возможна только в вакууме или в среде нейтральных газов.

Для литья по выплавляемым моделям наибольшее распространение находят дуговые гарниссажные электропечи с расходуемым электродом (рис. 7.11). Графитовый тигель 2, в котором происходит плавка, охлаждается водой, протекающей в медной обойме 5. Температуру внутренней поверхности тигля регулируют с таким расчетом,

Рис. 7.11. Схема плавки в дуговой гарниссажной электропечи с расходуемым электродом

чтобы на стенках тигля в течение всего процесса плавки оставался нерасплавленным слой титанового сплава толщиной 10—15 мм, так называемый гарниссаж 3. Гарниссаж препятствует непосредственному контакту тигля с ванной расплава 4, полученной от расплавления расходуемого электрода 1, и, таким образом, предохраняет сплав от насыщения углеродом.

В табл. 7.9 приведены технические характеристики электропечей для плавки титановых сплавов. Одна из печей (ОКБ-956) с поворотным тиглем для заливки расплава в форму представлена на рис. 7.12.

Для заливки тонкостенных отливок в плавно-заливочных камерах устанавливают центробежные установки.

Таблица 7.9

Техническая характеристика дуговых вакуумных гарниссажных электропечей

Параметр	ОКБ-956	ОКБ-1072	ОКБ-1007
Емкость плавильной ванны, кг	25; 60	100	250
Постоянный ток, А	14 000	14 000	25 000
Напряжение, В	28—32	34	38—40
Остаточное давление, Па	0,13	0,13	0,65
Максимальные размеры электрода, мм:			
длина	500	650	485
диаметр	200	300	460
Число устанавливаемых электродов	1	1	4
Максимальные размеры формы, мм:			
длина (диаметр)	800	600	800
ширина	—	600	800
высота	500	600	1200
Число установленных форм	1	1	4
Скорость плавки, кг/мин	5—8	3—6	10—15
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг	7,4	2,3	2,5
Длительность цикла, ч	2; 2,5	0,2	6,5
Расход охлаждающей воды, м³/ч	25	40	45
Габаритные размеры печи, мм:			
длина	7 400	12 000	11 350
ширина	2 800	7 560	6 750
высота	5 275	6 800	5 175
Масса печи, т	176	50	42

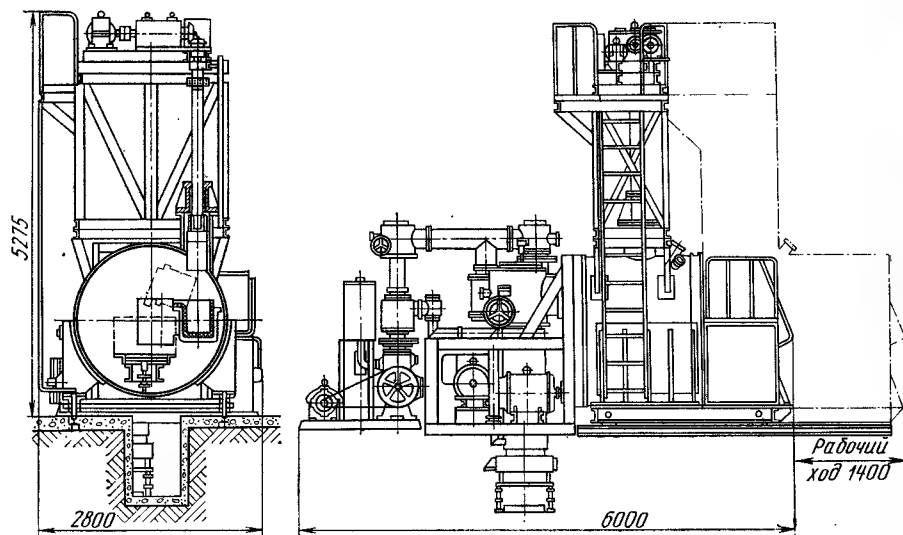


Рис. 7.12. Дуговая гарниссажная электропечь ОКБ-956

Плавка в электродуговых гарниссажных печах с расходуемым электродом имеет и недостатки — затруднен перегрев расплава и переплав отходов, невозможно выдерживать расплав в печи и др. В связи с этим ведутся работы по применению других источников теплоты для вакуумных гарниссажных печей. Для этих целей исполь-

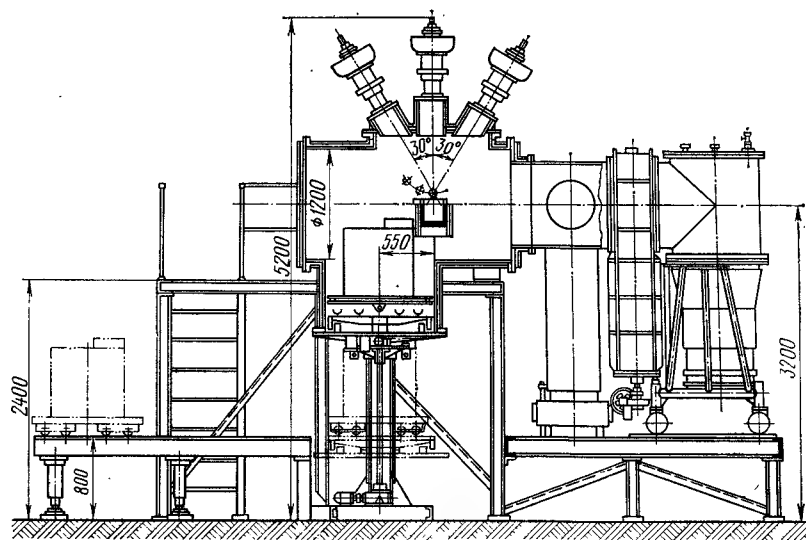
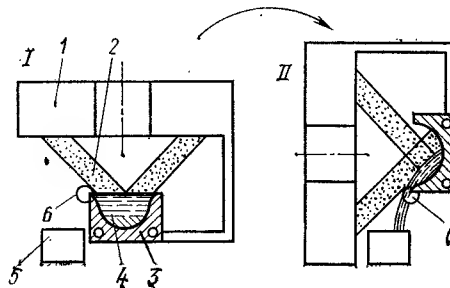


Рис. 7.13. Электронно-лучевая четырехпушечная гарниссажная установка

Рис. 7.14. Схема гарниссажной электропечи с поворотной радиальной пушкой:
I — положение при плавке; II — положение при заливке; 1 — электронно-лучевая пушка; 2 — электронный луч; 3 — медный тигель; 4 — расплав; 5 — форма; 6 — ось поворота



зуют аксиальные и радиальные электронные пушки. На их базе созданы гарниссажные установки для плавки титана и других тугоплавких металлов.

На рис. 7.13 показана электронно-лучевая гарниссажная промышленная установка для литья тугоплавких металлов, в которой находятся четыре аксиальные пушки мощностью 120 кВт каждая. Емкость тигля для плавки титана 6 л. Печь снабжена системой дистанционного наблюдения и управления процессом.

В отличие от дуговой плавки с расходуемым электродом электронно-лучевой нагрев позволяет расплавлять кусковой шихтовый материал, в том числе и отходы применяемых сплавов, легировать сплав введением легирующих компонентов в твердую шихту или в расплав в ходе плавки. При этом представляется возможным выдерживать расплав в течение любого времени и перегреть его до необходимой температуры. Кроме того, электронный нагрев позволяет создавать глубокий вакуум непосредственно над зеркалом ванны расплава для максимальной очистки его от вредных примесей.

На рис. 7.14 показана схема гарниссажной электропечи с поворотной радиальной пушкой, что позволяет эффективно обогревать ванну в процессе поворота тигля для слива расплава в форму.

Наряду с дальнейшими работами по внедрению электронно-лучевой плавки ведутся работы по плазменному нагреву. Для получения плазмы используют электрический разряд в среде газа. Обычно плазму получают с помощью дугового разряда в плазменной горелке. Проходя в плазменной горелке через дуговой разряд, газ ионизируется и выходит из сопла с температурой в несколько тысяч градусов. Полученную таким образом плазму применяют для гарниссажной плавки титана и других тугоплавких металлов.

Плавка медных сплавов. Бронзу и другие медные сплавы при литье по выплавляемым моделям плавят в индукционных или дуговых электропечах малой емкости.

Нагрев печи и плавка металла в дуговых электропечах производятся теплоизлучением от независимой электрической дуги, возникающей между двумя горизонтально расположенными графитовыми электродами. Корпус печи обычно цилиндрический с горизонтальной осью. По оси размещены электроды, к которым подведен постоянный ток. Печи выполняют поворотными вокруг горизонтальной оси, что удобно как для слива расплава, так и для быстрого на-

грева его при плавке благодаря покачиванию ванны и контакту расплава с нагретыми стенками футеровки.

Перед плавкой печь тщательно очищают и нагревают электрической дугой до 800 °С. Затем в нее загружают мелкий древесный уголь, применяемый в качестве покровного флюса, предохраняющего расплав от окисления. Уголь предварительно просушивают и прокаливают при температуре 600 °С. Сначала в печь загружают исходную медь, расплавляют ее и раскисляют фосфористой медью, вводя половину навески раскислителя. Затем загружают возврат (литники, бракованные детали, стружку и splески, лом), а также лигатуру. После раскисления всей шихты подогревают расплав до 1130—1190 °С и вновь раскисляют фосфористой медью, вводя половину оставшейся части навески. Затем вводят слегка подогретые (до 120—150 °С) легирующие компоненты: цинк, олово, свинец и др. После введения каждого из них расплав тщательно перемешивают и вновь подогревают до 1130—1190 °С. Готовый расплав подогревают до температуры 1180—1230 °С, выдерживают в печи 5—8 мин, снимают шлак и разливают. В разливочных ковшах расплав снова раскисляют, вводя оставшуюся часть навески фосфористой меди.

Фосфористую медь для раскисления дают с учетом допустимого содержания фосфора в сплаве: для оловянно-фосфористых бронз из расчета 0,1 % Р, для оловянных бронз, не содержащих фосфора, 0,04—0,05 % Р и для алюминиевых бронз 0,01—0,02 % Р.

При плавке алюминиевых бронз в дуговой печи нельзя допускать перегрев расплава выше 1200 °С. Во избежание окисления и повышенного угара алюминиевые бронзы плавят под слоем флюса, состоящего из битого стекла, буры, древесного угля, криолита и смеси солей (15 % фтористого натрия и 85 % хлористого натрия). Кроме того, расплав алюминиевых бронз можно рафинировать введением хлористого марганца (до 0,4 %) или продувкой хлором.

Кроме дуговых печей для плавки бронз и латуней применяют индукционные печи повышенной частоты, такие же, как и для плавки стали. В этом случае во внутрь индуктора в большинстве случаев направляют графитовый тигель, в котором и производят плавку. Можно применять индукционные электропечи промышленной частоты с железным сердечником ИЛО-0,75 (рис. 7.15), предназначенные для плавки латуней и других медных сплавов. Полезная емкость такой печи 750 кг металла. Принцип работы и конструкция электропечей ИЛО-0,75 те же, что и у печей ИА-05. Отличаются они меньшим пусковым периодом (не более 5 суток) и большей стойкостью футеровки (более 8000 плавов).

Контроль химического состава, температуры расплава, технологическая проба. Химический состав сплава определяют анализом на все основные элементы сплав и вредные примеси.

В ходе плавки, когда нет уверенности в химическом составе используемых шихтовых материалов, или для проверки расчетного состава, прибегают к экспресс-анализу. В большинстве литейных цехов существуют лаборатории экспресс-анализа, где за 10—15 мин производят анализ сплава на элементы, нуждающиеся в корректи-

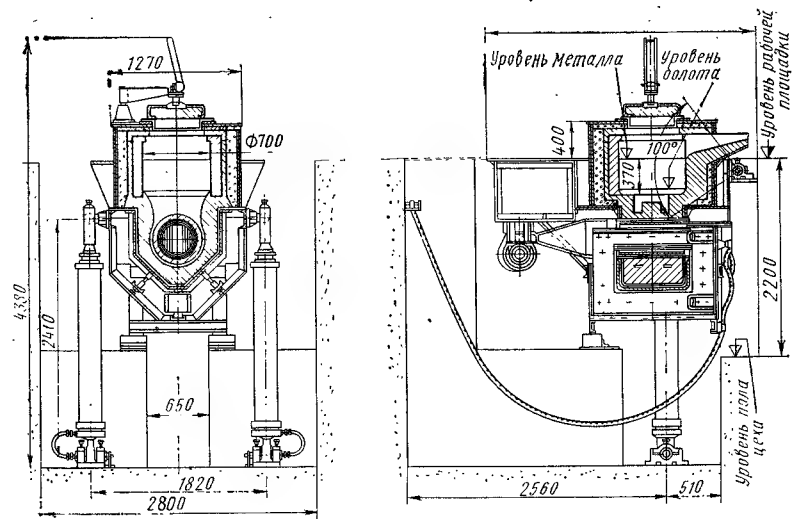


Рис. 7.15. Индукционная электропечь ИЛО-0,75 для плавки медных сплавов

ровке. В углеродистых сталях такими элементами являются углерод, кремний и марганец; в жаропрочных никелевых сплавах — алюминий и титан; в алюминиевых сплавах — хром, марганец, магний, медь, железо.

Пробы для экспресс-анализа берут после полного расплавления металла. Перед тем как взять пробу, расплав тщательно перемешивают на всю глубину ванны. Пробу берут ошлакованной ложкой и заливают расплав в специальный кокиль для образцов. Диаметр стандартных образцов составляет 8—9 мм. На образцах ставят клеймо (номер плавки) и передают в лабораторию. При отборе пробы в нее не должен попадать шлак, присутствие которого может исказить данные о составе сплава.

В экспресс-лаборатории содержание углерода и серы определяют методом химического анализа, а всех остальных элементов — методом спектрального анализа, который позволяет быстро по линиям спектра, излучаемого каждым элементом, определить концентрацию элемента в сравнении с эталоном.

Экспресс-анализ требует затраты некоторого времени, поэтому в случае плавки небольшого количества металла он не производится.

Для контроля качества сплава в ходе плавки производят также ряд испытаний технологических проб. Чаще всего берут пробу на раскисление и отсутствие газов в сплаве. В этом случае в цилиндрическую форму из стержневой смеси или в чугунный стакан ошлакованной ложкой наливают расплав. Если сплав плохо раскислен и содержит много газов, он застывает беспокойно, искрит, увеличивается в объеме («растет») и застывает с выпуклым ноздристым мениском. В разрезе такой пробы имеются пустоты. Хорошо раскисленный и не

насыщенный газами сплав застывает в пробе спокойно, дает нормальную усадку (вогнутый мениск). Проба в разрезе у хорошо раскисленного металла плотная.

Для контроля температуры расплава применяют оптические пирометры с исчезающей нитью ОППИР-45 (пиропто) и термопары погружения. Для тугоплавких сплавов чаще применяют оптические пирометры.

Оптический пирометр представляет собой лампу накаливания с питанием от гальванической батареи. При наведении объектива прибора на расплавленный металл через окуляр видна нить лампы. Если на фоне расплава нить имеет более темный цвет, это означает, что температура расплава выше требуемой. Более яркий цвет нити означает, что температура расплава ниже требуемой. Когда вершина нити исчезает на фоне расплава — температуры их равны. Накал нити регулируют реостатом. Одновременно отградуированный по температуре гальванометр указывает температуру расплава.

Более точно температуру измеряют термопарами погружения хромель-алюмелевыми для температур до 900 °С, платина-платинородиевыми до 1100 °С и вольфрамо-молибденовыми до 1800 °С. Все термопары погружения для тугоплавких сплавов надо защищать от действия расплава кварцевыми наконечниками.

7.5. ЗАЛИВКА ФОРМ

Заливка форм из ковша. При литье по выплавляемым моделям для заливки форм применяют ковши емкостью, не более 100 кг. При емкости ковша до 30 кг формы заливают вручную. При ковшах большей емкости применяют различные приспособления.

Для заливки цветных сплавов используют графитовые тигли, а для заливки сталей и тугоплавких сплавов — стальные футерованные ковши. Применяют открытые и чайниковые ковши. Стальной сварной кожух ковша набивается футеровкой следующих составов, % по массе:

Состав I		Состав II	
Магнезит, просеянный через сито	92	Глина огнеупорная	12
Глина огнеупорная, просеянная через сито	6	Пылевидный кварц	10
Борная кислота	2	Песок кварцевый	76
Вода с жидким стеклом (плотностью 1,75—1,25), более 100 %	8	Борная кислота	2
		Вода более 100 %	8

Футеруют ковши по шаблонам. Процесс футеровки ковша аналогичен процессу футеровки индукционной печи. После суточной просушки ковши прокалывают газовой горелкой или в электрической печи при температуре 800—900 °С в течение 1—2 ч.

В случае необходимости дозирования металла применяют мерные ковши (табл. 7.10). Для заливки форм вручную применяют обычные ковшовые носилки, на одной стороне которых находится шарнир. Это простое приспособление гарантирует удобство работы заливщика.

Для заливки форм из ковшей вместимостью более 30 кг применяют электромеханические подвески различных типов, перемещаемые по монорельсовым или бирельсовым путям. Из ковша заливают формы, находящиеся на конвейере.

Заливка форм в вакууме производится двумя способами: поворотом печи вокруг сливного носка в форму, установленную внизу; через сливной носок тигля в форму, установленную на печи под углом 90 ° к сливному носку, совместным поворотом печи с формой. При первом способе заливки весь шлак из печи попадает в форму. Кроме того, под давлением падающей струи возможно разрушение формы. В результате такой заливки бывает большой брак отливок по засорам. При втором способе заливки падающей струи нет и брак отливок по засору значительно меньше.

Центробежная заливка форм. Прогрессивный способ центробежной заливки, облегчает заполнение тонких кромок деталей, снижает расход металла на ЛПС и способствует получению более плотного металла, а значит и более прочной отливки. Центробежная заливка в настоящее время применяется редко при литье по выплавляемым моделям машиностроительных деталей из-за малой прочности форм, но широко используется в ювелирном и зубопротезном литье.

Центробежная заливка форм особенно целесообразна при получении крупных отливок, имеющих форму тел вращения и тонкие кромки на периферии отливки (цельнолитые сопловые аппараты, осевые роторы турбин и др.). Для этой цели созданы вакуумные установки полунепрерывного действия с плавильным тиглем емкостью 150 л и вращающимся столом, на который устанавливают горячие формы. Механизм вращения, находящийся вне печи, после расплавления металла и вакуумирования формы приводит вертикальную ось во вращение вместе со столом и формой. В это время тигель наклоняется и расплав через шлюзовое отверстие заливается в форму.

Аналогично осуществляют центробежную заливку на вакуумных гарниссажных установках для литья титановых сплавов.

Таблица 7.10

Размеры ковшей

Вместимость ковша, дм³	Диаметр дна, мм	Верхний диаметр, мм	Высота, мм
7	220	270	260
11	260	300	310
14	275	325	340
18	290	340	340
21	320	370	440

ВЫБИВКА, ОЧИСТКА И ТЕРМООБРАБОТКА ОТЛИВОК

8.1. ОХЛАЖДЕНИЕ ЗАЛИТЫХ ФОРМ И ВЫБИВКА ОТЛИВОК

После заливки формы охлаждают естественным путем — на воздухе — или принудительно — обдувкой холодным воздухом, душированием водой. Естественное охлаждение происходит весьма медленно. Например, средняя скорость охлаждения стальных отливок, залитых в форму с опорным наполнителем при 900 °С, составляет ~6 °С/мин. Та же форма, но без наполнителя, охлаждается со скоростью 30 °С/мин. В механизированных цехах формы с наполнителем охлаждают на конвейере, имеющем кожух с отсасывающей вентиляцией (скорость охлаждения до 12 °С/мин) или же с душированием извлеченных из накопителя блоков водой на агрегатах мод. 675 (до 80 °С/мин).

Практика работы цехов литья по выплавляемым моделям и исследования [20, 91] показывают, что при медленном охлаждении металла (например, при заливке в формы, нагретые до 900 °С) качество металла выше, чем при заливке в подстуженные или холодные формы. Несмотря на практически одинаковую плотность отливок и более измельченную кристаллическую структуру (в 1,5 раза меньше условный диаметр зерна стали по ГОСТ 5639—82), механические свойства отливок с крупнокристаллической структурой, охлаждаемых с малой скоростью, выше, чем при быстром охлаждении (рис. 8.1).

Исследования [23] показали, что основное влияние на механические свойства металла отливок оказывают не плотность, степень раздробленности и число пор, а размер пор и их форма. С увеличением скорости охлаждения число пор N на 1 см² поверхности шлифа металла (рис. 8.2) уменьшается, однако их суммарная площадь в сечении шлифа S и диаметр увеличивается. Чем меньше размер усадочной поры, тем больше ее форма приближается к сферической и тем меньше она оказывает отрицательное влияние на механические свойства металла. Крупные поры разветвленной хлопьевидной формы, являясь концентраторами напряжений, снижают прочность и пластичность стали отливок.

Следует отметить, что ускоренное охлаждение затвердевших отливок, например душированием, способствует увеличению внутренних напряжений в них и может вызвать образование трещин.

Для выбивки блоков отливок применяют выбивные решетки и поворотные машины. Эти устройства работают обычно в комплексе с механизмами для просеивания и возврата опорного наполнителя. Отсев (комья, куски оболочки) выбрасывают в отвал, а просеянный

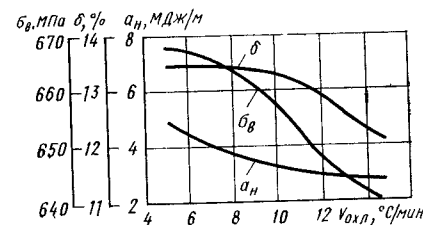


Рис. 8.1. Механические свойства металла отливок в зависимости от средней скорости их охлаждения $V_{охл}$

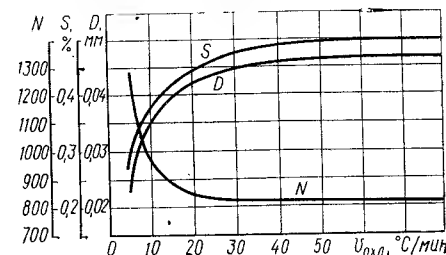


Рис. 8.2. Пористость отливок в зависимости от средней скорости охлаждения металла

наполнитель вновь используют для формовки. Для выбивки опоку можно поворачивать над решеткой вверх дном на цапфах, с помощью коромысла и пневмоподъемника, передвигающегося по подвесному монорельсу.

Поворотные машины бывают двух типов. На машинах первого типа наполнитель высыпается в приемник конвейера вместе с отливками. Во втором типе машины предусмотрена выбивка на решетку, сквозь которую наполнитель просыпается в бункер, а отливки передаются на конвейер. Устройство второго типа более удачно, так как отливки после выбивки транспортируют без наполнителя и они быстро охлаждаются.

8.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА БЛОКОВ ОТЛИВОК

На блоках отливок после выбивки имеются остатки оболочки и наполнителя. Чем выше температура выбитых блоков, тем больше и плотнее слой наполнителя. После охлаждения наполнитель осыпается, блоки проходят предварительную очистку и далее поступают на операцию отделения от ЛПС и окончательную очистку. Блоки предварительно очищают ударами по литниковой воронке. В механизированном производстве для этого применяют специальные вибрационные установки.

При изготовлении мелких отливок, часто применяют вибрационные установки, выполняющие две операции — предварительную очистку и отделение отливок. Предварительной очисткой оболочку удаляют только с наружных частей отливок, но она остается в отверстиях и поднутрениях.

8.3. ОТДЕЛЕНИЕ ОТЛИВОК ОТ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Для отделения отливок от литниковой системы применяют следующие способы: отбивку на вибрационных установках, отрезку на металлорежущих станках, отделение на прессах, газопламенную и анодно-механическую резку.

Отбивка на вибрационных установках заключается в том, что при ударной вибрации блока отливка приобретает колебательное движение, вследствие чего разрушается металл питателя и отливка отваливается от стояка. Для этого в определенном месте на питателе выполняют пережим, являющийся концентратором напряжений. В вибрационных установках блок отливок зумпфом устанавливают на подпятник подушки. Боек перфоратора прижимают к литниковой воронке блока пневмоцилиндром. При включении установки вначале отделяется оболочка, а затем и отливки, которые падают в ящик. Вся установка заключена в звукоизоляционный корпус.

Производительность вибрационных установок, в основном зависит от трех факторов: от способа закрепления обрабатываемого блока, от материала, из которого изготовлены отливки, и от мощности установочного вибратора. Отливки отделяются за 3—7 мин. Вибрационный способ позволяет отделять отливки, соединенные со стояком как одним, так и несколькими питателями, расположенными в любой плоскости. При этом отливки могут быть соединены со стояком непосредственно, а через коллекторы.

При сложной конфигурации отливок с выступающими частями возможно появление микронадрывов и трещин, а иногда происходит и разрушение отливки. Поэтому рассмотренный способ можно применять для отбивки оболочки вибрацией до 30 с и его нельзя рекомендовать для отделения от стояка отливок любой конфигурации.

В условиях крупносерийного и массового производства мелких стальных отливок нашел применение полуавтомат мод. 693 (см. рис. 10.8), в котором блок после кратковременной вибрации в виброустройстве передается на гидроцилиндр, проталкивающий стояк через фильеру для отделения отливок. Подробное описание устройства этого автомата приведено в гл. 10.

В некоторых случаях, например когда ЛПС кроме стояка и коллекторов имеет также прибыли, последние и отливки отрезают механическими ножовками, дисковыми пилами или на токарных фрезерных, шлифовальных станках. Токарный станок с узким отрезным резцом или фрезерный станок с дисковой фрезой удобнее всего использовать для отрезки отливок, изготовленных с дисковой или коллекторной литниковой системой.

Отрезка отливок на металлорежущих станках может быть оправдана только в том случае, если другие способы отделения невозможны или в случае применения разнообразных литниковых систем, требующих универсального оборудования. Низкая стойкость режущего инструмента при отрезке отливок объясняется тяжелыми условиями его работы (на удар), а иногда и тем, что в местах реза имеются остатки оболочки. При использовании абразивных кругов на операции отрезки отливок производительность значительно увеличивается и не зависит от твердости литейного сплава. Для ускорения отрезки отливок применяют различные приспособления, сокращающие вспомогательное время установки блоков. Можно использовать шлифовальные станки с возвратно-поступательным движением стола и абразивным кругом толщиной до 3 мм.

Рис. 8.3. Схема анодно-механической резки

При отделении отливок на прессах стояк с отливками продавливают сквозь отрезную трубчатую матрицу. После отделения последнего верхнего ряда отливок стояк вытягивают из матрицы. Производительность гидравлического пресса мод. 694 составляет 120—180 блоков в час.

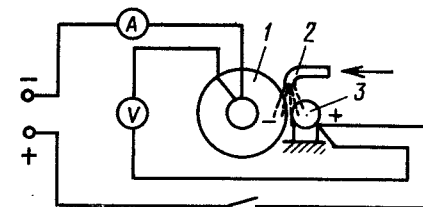
Преимущества этого способа — простота конструкции, бесшумность работы и большая производительность, в среднем в 10 раз превышающая производительность вибрационных установок. Этим способом обычно отделяют отливки, прикрепленные непосредственно к стояку одним питателем. Если питателей два и более, то они должны быть в одной горизонтальной плоскости для одновременного восприятия нагрузки при отрезке.

В процессе отрезки вначале происходит отгибание питателей и, если расстояние между рядами отливок невелико или длина питателей небольшая, отгибаемые отливки могут упираться либо в отливки соседнего ряда, либо в стояк, что приводит к их деформации.

Газопламенную и анодно-механическую резку применяют главным образом для отрезки прибылей от крупногабаритных отливок. Отрезка прибылей, а иногда и отрезка отливок от стояка с помощью газовых горелок — трудоемкий процесс, трудно поддающийся механизации. При газопламенной резке ввиду неравномерного нагрева в отливках могут возникать термические напряжения и деформации. Брызги расплавленного металла часто попадают на поверхность отливок, ухудшая их качество.

Сущность анодно-механической резки основана на сочетании электрохимического и теплового действий тока с механическим воздействием (рис. 8.3). Полусы источника постоянного тока низкого напряжения соединяют с отрезаемой отливкой — анодом 3 и вращающимся диском — катодом 1. Для предупреждения короткого замыкания электродов в пространство между отливкой и диском по трубе 2 непрерывной струей электролит (раствор жидкого стекла).

Под действием постоянного тока на поверхности отливки возникает защитная силикатная пленка, являющаяся диэлектриком. При вращении металлического диска — катода — эта пленка частично механически удаляется с микровыступов поверхности реза — анода. В отдельных точках толщина пленки резко уменьшается и подводимый ток концентрируется именно в этих местах. Плотность тока здесь оказывается настолько большой, что его кратковременное тепловое действие достаточно для оплавления микроскопических участков реза. Расплавленные частицы увлекаются быстровращающимся диском и выбрасываются, в результате чего диск поступенно углубляется в тело питателя или прибыли и разрезает их.



8.4. ОЧИСТКА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

Предварительной очисткой удаляют оболочку с наружной поверхности отливок; оболочка или стержень, охватываемые металлом, при этом не удаляются, что объясняется усадкой металла и шероховатостью оболочки. При остывании залитых форм усадка металла больше, чем усадка оболочки, и металл, обжимая оболочку, препятствует ее удалению. Для подавляющей номенклатуры машиностроительных отливок в их отверстиях после предварительной очистки вибрацией остается до 10 % оболочки.

Полнота очистки отливок от оболочки не зависит от метода приготовления этилсиликатного связующего и способа удаления модельного состава из формы. Во всех случаях чем больше степень окисленности поверхности металла отливок, тем глубже он проникает в оболочку и тем больше пригар. С увеличением дисперсности пылевидного материала суспензии пригар уменьшается.

Способы очистки отливок по выплавляемым моделям подразделяют на механические и химико-термические. Кроме того, известны комбинированные способы, например галтовка отливок в кипящем щелочном растворе. Использование какого-либо одного способа очистки для всей номенклатуры отливок, как правило, нерацionalmente, а иногда и практически невозможно. Поэтому для окончательной очистки следует применять поочередную, ступенчатую очистку, например щелочение и дробеструйную обработку. К механическим способам относят очистку дробью, металлическим песком, гидроабразивную в галтовочных барабанах.

Для некоторых отливок простой конфигурации применение механического способа может быть достаточным для полной очистки их. Учитывая высокую трудоемкость, длительность и повышенную стоимость химических способов очистки, можно рекомендовать проводить предварительную механическую очистку перед химической. В этом случае трудоемкость химической очистки резко снижается.

Очистка металлическим песком или дробью в дробеструйных установках рациональна при условии применения дроби размером не более 0,3 мм. Очистка крупной дробью ухудшает поверхность отливок. Обычно очищают отливки, отделенные от литниковой системы, в установках периодического или непрерывного действия.

На рис. 8.4, а показана полуавтоматическая дробеструйно-галтовочная установка. Отливки очищают во вращающемся барабане 4, облицованном резиной. В нижнем бункере 1 находится дробь, которая сжатым воздухом по шлангам попадает в два пистолета 3, направляющих струю дроби на очищаемые отливки. При вращении барабана через отверстия в нем дробь вновь попадает в бункер через металлическую сетку 2. В верхней части установки смонтирована система, вытяжной вентиляции 5. В барабан загружают до 30 кг отливок и очищают их за 10—20 мин при вращении барабана с частотой 4 об/мин.

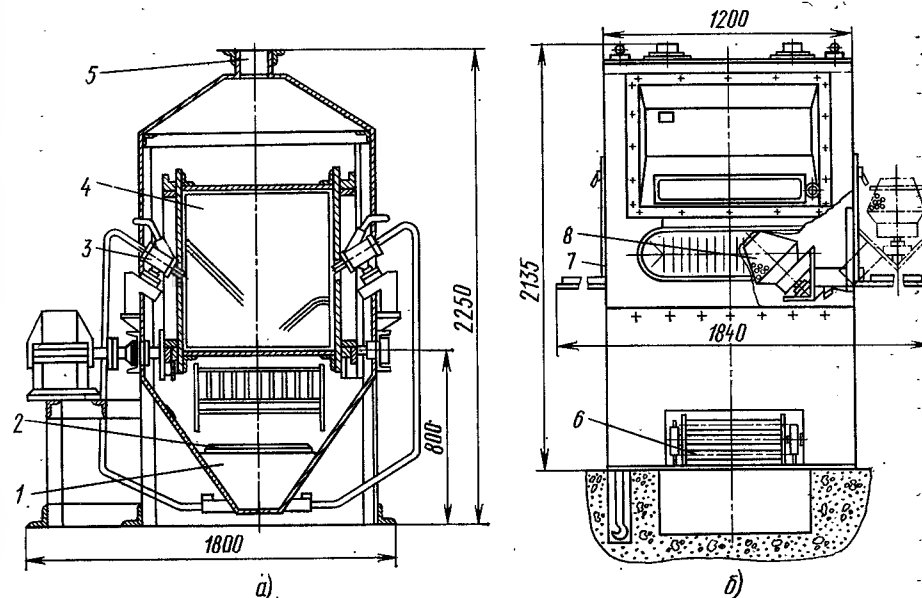


Рис. 8.4. Схемы дробеструйных установок

В камере мод. 44612 СКБ завода «Амурлитмаш» (г. Комсомольск-на-Амуре) (рис. 8.4, б) можно очищать отливки обдувкой металлическим песком во вращающемся колоколе 8 или при необходимости сохранения острых кромок на неподвижной решетке внутри камеры. Детали загружают вручную через герметично закрываемое окно 7. Рабочая зона камеры освещается двумя светильниками, установленными на потолок камеры. Для включения и отключения пистолета служит педаль 6.

Способ гидроабразивной очистки значительно лучше, чем способ очистки сухими абразивами, так как при его применении не образуется пыль. Однако из-за более сложной конструкции гидроабразивных установок и менее стабильной работы их этот способ применяют реже.

По принципу подачи гидроабразивной смеси (пульпы) на очищаемые отливки установки подразделяют на три типа: с эжектированием пульпы, с выдавливанием ее из сосудов сжатым воздухом и применением струйного аппарата, с подачей пульпы насосами к струйному аппарату и последующим ускорением ее сжатым воздухом.

Для установок первого типа используют сильно разбавленную пульпу с содержанием до 30 % твердой составляющей. При увеличении последней работа нарушается из-за образования в шлангах абразивных пробок.

В установках, выполненных по первым двум принципам, нельзя использовать пульпу с концентрацией абразивного материала более

25 % (по объему), в то время как увеличение концентрации его до 50 % значительно повышает производительность очистки. Кроме того, на этих установках приходится использовать абразивный материал постоянной концентрации, которым заряжен расходный бункер.

Иногда же в процессе очистки концентрацию абразивного материала в пульпе требуется изменять, например, при попеременной очистке отливок из твердых сплавов и из мягких цветных сплавов. В этом случае приходится выкачивать жидкость и заменять ее новой или же подбирать необходимую концентрацию.

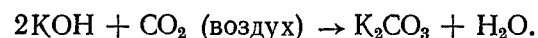
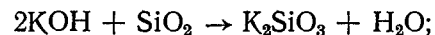
Такие недостатки устранены на установках, в которых использован принцип подачи пульпы к струйному аппарату насосами с последующим ускорением ее сжатым воздухом.

В качестве абразивного материала в отечественной промышленности чаще всего используют обычный кварцевый песок. В зарубежной практике применяют для очистки корунд, карбид кремния; из металлических очистных материалов — мелкую рубленую проволоку, чугунную дробь с сорбитообразной структурой после специальной термической обработки. На заводе «CHOINDEZ» (Швейцария) применяют абразивный материал Wikoip, получаемый из доменных шлаков с добавкой в них перед гранулированием специальных компонентов, повышающих износостойкость гранул.

После гидроабразивной очистки во избежание коррозии отливки промывают и сушат сжатым воздухом. В качестве промывочных средств используют 2%-ный раствор кальцинированной соды или 5—10 %-ный нитрит натрия. Раствор должен быть подогрет до 60—95 °С для улучшения качества промывки и ускорения высушивания отливок.

Химико-термические способы очистки получили распространение в связи с тем, что очистка механическими способами в большинстве случаев не обеспечивает надежного удаления оболочки из полостей и отверстий отливок. Химико-термическую очистку в горячих растворах или расплавах щелочей и солей часто совмещают с механическими способами (щелочение в галтовочных барабанах). При очистке в растворах щелочей следует ориентироваться на раствор едкого кали (KOH), так как время щелочения в таком растворе значительно меньше, чем в растворе едкого натра.

В процессе очистки отливок в растворе протекают две основные реакции



Скорость образования K_2SiO_3 намного превышает скорость образования K_2CO_3 . При интенсивном перемешивании кипящего 50 %-ного раствора щелочи, в котором постоянно присутствует кремнезем оболочки, жидкого стекла образуется примерно в 5 раз больше, чем K_2CO_3 . Уменьшение в растворе свободной щелочи компенсируется увеличением жидкого стекла, так что общая щелочность раствора остается примерно одинаковой. Следовательно, определение

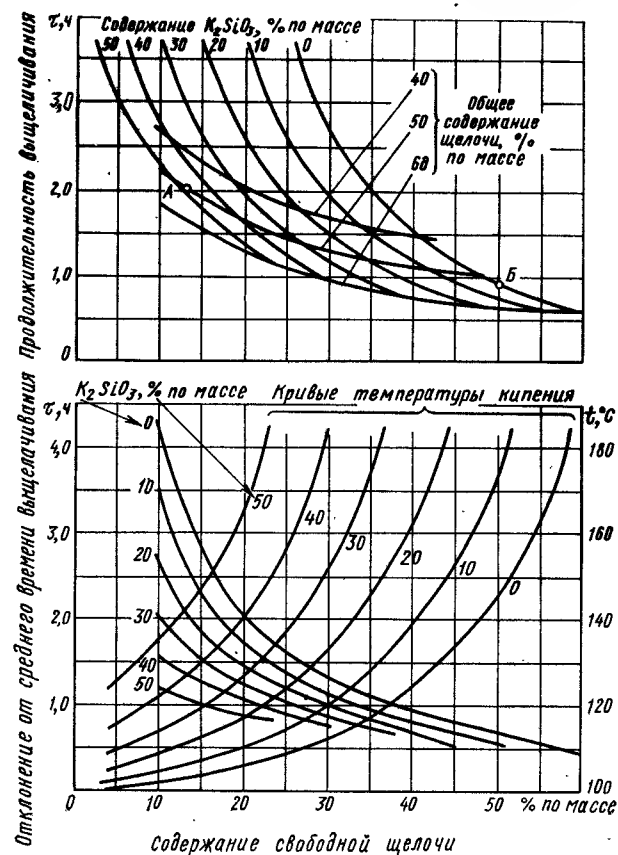


Рис. 8.5. Параметры процесса очистки отливок от остатков оболочки в растворах KOH

общей щелочности раствора в данном случае не является показателем, на основании которого можно судить о качестве очищающего действия раствора.

Увеличение в растворе жидкого стекла и K_2CO_3 замедляет процесс очистки. При одном и том же содержании общей щелочи время очистки будет различно. Например, при работе с растворами, содержащими 50 % свободной щелочи без жидкого стекла, продолжительность выщелачивания составляет 1 ч (точка Б, рис. 8.5), в то время как раствор, содержащий 13 % KOH и 51 % K_2SiO_3 , очищает те же отливки за 2 ч (точка А). Содержание общей щелочи в обоих случаях составляет 50 %.

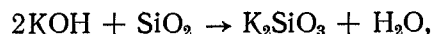
Основным фактором, определяющим скорость очистки отливок, является содержание свободной щелочи. В процессе работы содержание свободной щелочи падает и возрастает количество жидкого стекла. Испарение воды в ванне приводит к увеличению процентного

содержания общей щелочи, свободной щелочи и жидкого стекла. Пополнение раствора водой до прежнего объема приводит к первоначальной общей щелочности раствора. Унос раствора с извлекаемыми из ванны отливками и пополнение водой приводит к уменьшению общей и свободной щелочи и жидкого стекла, а при доливке ванны щелочным раствором содержание общей и свободной щелочи увеличивается, жидкого стекла уменьшается.

Оптимальная концентрация КОН 45—55 %. Дальнейшее увеличение концентрации сокращает цикл очистки, но такой раствор неудобен из-за его кристаллизации при понижении температуры.

Все рассмотренное выше по очистке отливок щелочью относится к кипящим растворам. При кипении происходит интенсивное омывание отливок раствором и время очистки сокращается. Достаточно сказать, что 30 %-ный кипящий раствор щелочи эффективнее очищает отливки, чем 50 %-ный раствор при той же температуре. Однако температура кипения раствора не может служить параметром, определяющим работоспособность ванны, так как температура кипения раствора с различной свободной щелочью одинакова при соответствующем содержании пассивного жидкого стекла (см. рис. 8.5).

Теоретически расход щелочи, вычисленный по реакции



составляет 1,87 кг на 1 кг оболочки. Практически расход КОН составляет 1,3—1,4 кг на 1 кг оболочки, так как при щелочении часть оболочки отваливается от очищаемых отливок и оседает на дно, где реакция между КОН и SiO_2 протекает медленно вследствие малого притока свежего раствора. Аналогичное явление происходит и на отливках, поверхность которых скрыта от раствора КОН образовавшимся жидким стеклом. Интенсивное перемешивание раствора или перемещение отливок в растворе заметно ускоряет процесс очистки.

Операцию выщелачивания отливок из-за ее вредности следует максимально механизировать. Полностью механизированные установки бывают двух типов: конвейерные и — наиболее часто применяемые — барабанные. На установке, используемой на ПО ЗИЛ отливки загружают в 35 корзин подвешенного конвейера. Во время движения в ванне с 50 %-ным раствором КОН корзины вращаются, совершая 23 об/мин, что ускоряет процесс очистки. На выходе из ванны корзины с отливками промываются горячей водой. Производительность установки 200—450 кг/ч.

Значительно интенсифицируется очистка во вращающихся барабанах (мод. 695). Барабан разделен на два отсека. В первый отсек наливают 30—40 %-ный раствор щелочи, во второй — воду. Содержимое барабана подогревают газовыми горелками. Медленно вращаясь, барабан винтовыми спиралями перемещает отливки вдоль оси от места их загрузки к перегрузочному устройству, перебрасывающему их во второй промывочный отсек вместе со шламом. Из промывочного отсека отливки и шлам разгрузочным устройством выбрасываются в перфорированную приставку, в которой шлам смы-

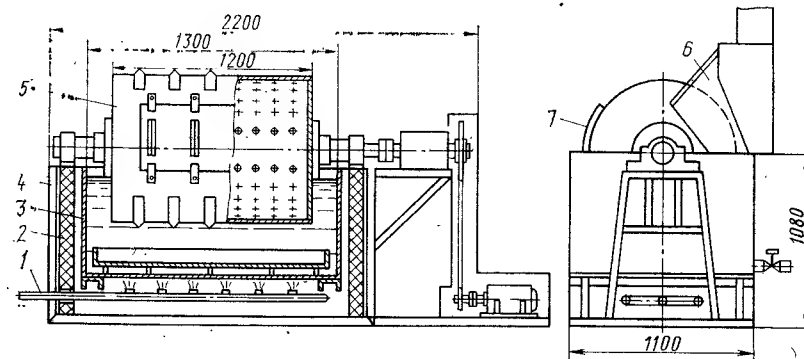


Рис. 8.6. Съемный очистной барабан

вается с отливком. Производительность установки 300—350 кг отливок в час.

В цехах с меньшей производительностью используют барабаны периодического действия (рис. 8.6). Барабан обслуживается краном-балкой. Внутри теплоизолированного кожуха 2 установлена ванна 3 с раствором КОН. На раме 4 смонтированы разъемные подшипники, в которых вращается перфорированный барабан 5. Ванну подогревают газовыми горелками 1. В барабан через секторное окно 7 загружают 300—450 кг отливок и устанавливают в ванну, где он вращается с частотой 10—12 об/мин. Ванна оборудована бортовым отсосом 6. После очистки барабан с отливками погружают в ванну с горячей водой для промывки. Скорость очистки значительно возрастает при загрузке в барабан вместе с отливками металлической дробы.

В таких барабанах отливки разных наименований перемешиваются, что требует последующей разборки, а также забиваются острые кромки отливок. Для исключения этих недостатков применяют барабан мод. 6Б95 (рис. 8.7).

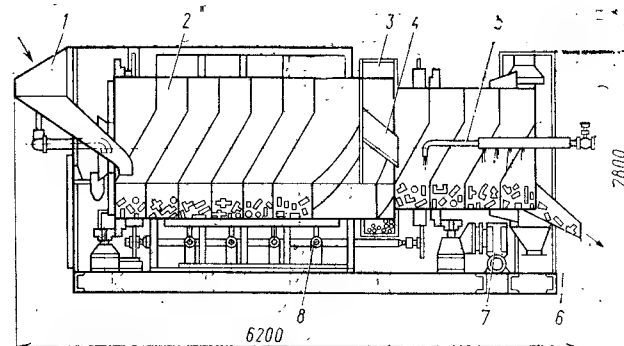


Рис. 8.7. Автомат выщелачивания керамики мод. 6Б95

Отливки из бункера 1 по рукаву попадают в барабан 2, заполненный кипящим щелочным раствором. Раствор подогревают газовыми горелками 8. Барабан разделен на шесть секций, в которых можно очищать отдельные партии отливок, не смешивая их. Барабан с помощью электродвигателя 7 поворачивается в обе стороны на 270°. После определенного времени выщелачивания, определяемого особенностями технологического процесса, барабан поворачивается на 360° и отливки передаются в следующие секции. Отливки из последней (крайней правой) секции перегружают по лотку 4 в секцию, в которую по трубе 5 подведена горячая вода для промывки. В следующих двух правых крайних секциях отливки промывают холодной водой и по лотку 6 подают в тару. Вместе с отливками из секции в секцию передается шлам, который попадает в барабан 3, загруженный шарами, которые измельчают шлам, не давая ему превратиться в монолитную массу. В каждую секцию загружают ~80 кг отливок.

При использовании в качестве рабочей среды 100 %-ной щелочи, т. е. расплава ее с температурой 500 °С, время выщелачивания сокращается до нескольких минут.

Отливки выщелачивают в тигельных печах с электрообогревом или же в ваннах типа закалочных бачков с солевыми расплавами.

Для безопасной работы с расплавленной щелочью количество оболочки, одновременно вносимой в ванну с отливками, не должно превышать 2 % массы расплава. В противном случае образующаяся в большом количестве при очистке вода интенсивно превращается в пар, что вызывает бурное пенообразование, в результате возможно переливание содержимого ванны через край.

Обработка отливок в расплавленной щелочи позволяет удалять с них не только остатки оболочки, но и окалину. При высокотемпературном выщелачивании отливки корродируют и покрываются ржаватыми пятнами ржавчины. Иногда налет ржавчины сплошь покрывает всю поверхность отливки, что объясняется высокой активностью воды, выделяемой в процессе щелочения отливок. Для улучшения поверхности отливок и предупреждения коррозии в щелочь добавляют 2—4 % желтой кровяной соли.

Расход щелочи при высокотемпературной очистке достигает 170 кг на 1 т годного. Очистку в расплавленной щелочи можно совместить с термообработкой отливок, для чего расплав нагревают до 800—900 °С. Однако следует учитывать, что при этом щелочь активно испаряется.

Алтайским научно-исследовательским институтом технологии машиностроения (АНИТИМ, г. Барнаул) разработан процесс очистки отливок в расплавах солей, используемый на Алтайском моторном заводе. На автоматической линии (рис. 8.8) процесс очистки совмещен с термообработкой в расплаве кальцинированной соды с 15 % KCl и 3 % NaF. При температуре выше 900 °С сода энергично растворяет оболочку с выделением углекислого газа

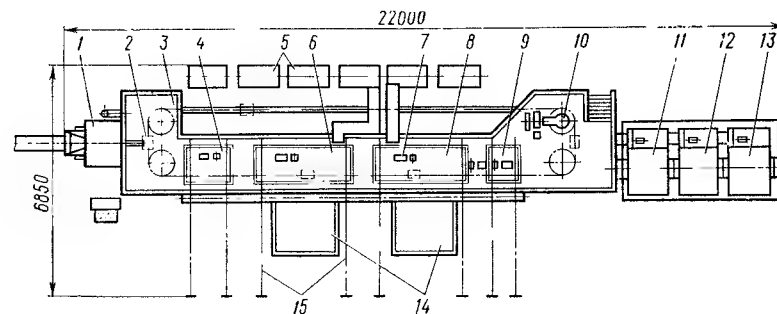
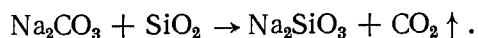
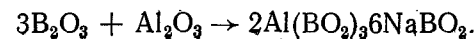


Рис. 8.8. Линия очистки и термообработки отливок в расплавах солей

Корзины 2 на подвесках загружают отливками дозатором 1 и перемещают конвейером 3 с приводной станцией 10 в печь подогрева 4. Нагретые до 200—250 °С отливки поступают в печь 6 с расплавленной содой. Расплав (около 2 т) нагревается электродами, которые соединены с понижающими трансформаторами 5. Продолжительность очистки можно регулировать в пределах 11—45 мин. Для предупреждения обезуглероживания в расплав вводят 0,1—0,3 % древесного угля. Очищенные отливки переносят в печь — ванну 8 изотермической обработки при 650—680 °С в эвтектическом расплаве солей Na_2CO_3 и KCl . В ванне установлены механические мешалки — активаторы для выравнивания температуры. В камере 9 отливки охлаждаются и предварительно отмываются потоком проточной воды. Завершают технологический процесс в трех барабанах: барабане-накопителе 11, барабане 12 для осветления отливок в ингибированной 15—20 %-ной соляной кислоте и барабане 13 с горячей (80—90 °С) водой. Все четыре ванны 4, 6, 8 и 9 установлены на рельсах 15. Для ремонта их выкатывают из-под кожуха линии. Под ваннами 6 и 8 находятся приемки 14 с емкостями для периодического слива отработанного состава и аварийного слива расплава. Корзины переносят из ванны в ванну с помощью перекидных устройств 7.

Производительность линии 400—800 кг/ч. Расход соли на 1 т отливок 100 кг.

Высокая химическая стойкость алюмосиликатов (муллит, шамот) не позволяет использовать растворы и расплавы щелочей для очистки отливок от оболочки из этих материалов. В НИИТАвтопроме разработаны специальные составы, в которых растворяются алюмосиликаты. Полная и быстрая очистка происходит в расплаве соды и буры. При оплавлении буры с содой последняя разлагается с выделением углекислого газа $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Газ растворяется бурой и вытесняет избыток борного ангидрида B_2O_3 , который вступает в реакцию с Al_2O_3 оболочки



Одновременно сода реагирует с SiO_2 оболочки с образованием Na_2SiO_3 , которая образует с борным ангидридом комплексные боросиликаты.

Минимальное содержание буры в расплаве 15 %, оптимальное 28—32 %. Время очистки отливок 5 мин при температуре расплава 950—970 °C и содержании буры 30 %. По мере насыщения расплава продуктами разрушения шамота продолжительность очистки увеличивается.

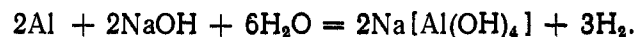
Продукты реакции не смываются с отливок водой, поэтому для их удаления используют второй расплав, состоящий из 50 % соды и 50 % хлористого калия. В этом составе при 650—670 °C отливки полностью очищают, а затем промывают горячей проточной водой. Такая технология обеспечивает одновременную очистку и термообработку отливок.

По пат. 610494 (США) сплавы на никелевой и кобальтовой основах очищают от цирконового и алюмосиликатной оболочки в 48—70 %-ной плавиковой кислоте за 1—2 ч. Для удаления окислов с отливки используют раствор из 2 об. ч. 42 %-ной HNO_3 ; 2 об. ч. 48—70 %-ной HF ; 0,02 36 %-ной HCl и 1 об. ч. H_2O с последующей промывкой водой.

8.5. ОЧИСТКА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ

Алюминиевые отливки обычно очищают механическим способом, что облегчается благодаря отсутствию химического пригара. Однако в отдельных случаях при очень сложных отливках такая очистка неэффективна и приходится использовать химические способы. Одним из способов, предложенным К. С. Ковалдовым и К. А. Борисовым, является очистка в 30—50 %-ном водном растворе бифторида калия. Отливки поочередно погружаются в холодный и горячий растворы.

Согласно [60] алюминиевые отливки можно очищать в расплаве обезвоженной щелочи. При 400—550 °C такой расплав практически не взаимодействует с алюминием. Его потери при выщелачивании составляют 0,4 %. Однако во время взаимодействия щелочи с кремнеземом оболочки выделяется вода и тогда происходит активное растворение алюминия:



Для нейтрализации воды в расплав вводят буру или цинк (последний предпочтительнее), который значительно снижает растворение алюминия. После выщелачивания следует тщательно промыть отливки. Рекомендуется следующий режим очистки. Отливки погружают в расплав, состоящий из NaOH с 0,5 % Zn , при 500 °C на 20 мин. Затем отливки охлаждают 2 мин на воздухе и промывают 15—20 с в 3 %-ном растворе бихромата калия. Далее идет обработка в 16 %-ном растворе HNO_3 (5 мин), в 5 %-ном кипящем растворе бихромата калия (20 мин). Завершается очистка промывкой в холодной воде и сушкой при 150 °C.

Фирма Daulton Industrial Products Ltd (Англия) при необходимости химической очистки алюминиевых сплавов изготавливает форму со связующим из фосфата кальция с последующим растворением в разбавленном растворе соляной кислоты.

8.6. ПРОЧИЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ОТЛИВОК

Вибрационным способом отливки очищают в барабанах с абразивным материалом. Барабан, укрепленный на упругих связях, приводится в вибрирующее состояние, при котором отливки и абразив перемещаются относительно друг друга. Сочетание этих движений приводит к очистке наружных и в меньшей степени внутренних поверхностей отливок.

В цехе литья по выплавляемым моделям КамАЗа применяют виброочистную установку (рис. 8.9). Бункер 1 V-образной формы (внутри обрешеченный) установлен на восьми пружинах 5. На валу 7 бункера закреплены дебалансы 8, приводимые во вращение двигателем 4. В полости установки размещен бак-отстойник 6, из которого в бункер подают очищающую жидкость, последняя также уносит продукты, образующиеся в процессе очистки.

В установке предусмотрена грубая и тонкая очистка жидкости. Вибрационное устройство установки закрыто кожухом 3, обтянутым поролоном. Отливки загружают в бункер с помощью подъемника 2 с быстросменной тележкой; для загрузки служит магнитный барабан с ленточным конвейером. В качестве абразивных частиц используют бой наждачных кругов. Частота колебаний 1000—1200 в мин при амплитуде 3—4 мм. Для очистки используют жидкости на водной основе: для стальных и чугунных отливок — 3 % нитрита натрия, 0,5 % триэтанолamina, 1,5 % уротропина, для отливок из медных сплавов — 1 % хромового ангидрида, 0,5 % поваренной соли; для отливок из алюминиевых сплавов — 0,8 % тринатрийфосфата.

При электрохимической очистке очищающей средой является чистая щелочь или щелочь с добавкой различных солей. Температуру расплава поддерживают в пределах 450—500 °C. Подвески, на которых укреплены очищаемые отливки, подключены к отрицательному полюсу генератора постоянного тока. К положительному полюсу генератора подключен поддон, в результате чего достигается хорошая направленность тока. Продолжительность щелочения под током 8—15 мин

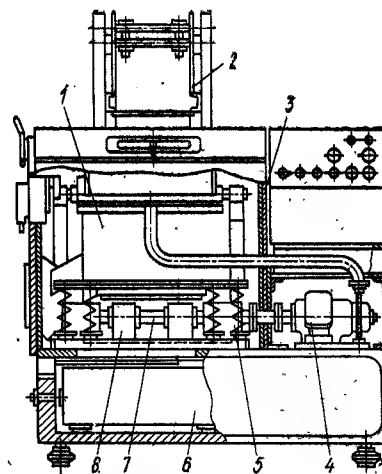


Рис. 8.9. Виброочистная установка

в зависимости от конфигурации отливок, а промывки в холодной и горячей воде 6—8 мин. Общая продолжительность очистки составляет 14—20 мин. Силу тока поддерживают 800—1200 А и регулируют изменением расстояния между отливками и поддоном, напряжение 6—12 В. После очистки отливки имеют светло-серебристую поверхность.

Для уменьшения расхода щелочи необходимо максимально освобождать отливки от оболочки при предварительной очистке.

Фирма Degusso AG and Kolene Corp (США) использует электролит следующего состава: 75—95 % гидроокиси натрия, ~2,5 % фтористого натрия, ~2,5 % буры и 1—10% хлористого натрия. Вместо фтористого натрия можно применять фторалюминат натрия или криолит. Температура ванны 400—500 °С. При напряжении на клеммах электродов 2—6 В рекомендуется поддерживать плотность тока 4—6 А/дм². Для ускорения процесса (до 20 мин) можно изменять полярность электродов.

Установка для электрогидравлической очистки состоит из выпрямителя и конденсаторов, которые разряжаются периодически через воздушный искровой разрядник. Энергия конденсаторов передается на пару электродов, погруженных в воду. При разрядке большая часть энергии уходит в объем воды между электродами, так как в этом месте сопротивление во много раз выше, чем в любом другом отрезке разрядного контура. Чтобы достичь максимальной отдачи энергии в кратчайшее время, разрядный контур должен иметь минимальные сопротивления и индуктивности.

Мгновенное выделение энергии в результате искрового разряда создает в паровом канале между электродами высокое избыточное давление (до 1500 МПа). Когда скорость расширения канала достигает своего наивысшего значения, стенки канала разрываются ударной волной, которая распространяется в воде со скоростью, равной наибольшей скорости расширения канала.

Механическое воздействие разряда проявляется в ударной волне, кавитационном разрушении и давлении импульса с отдачей массы воды. Поскольку интенсивность ударной волны уменьшается с удалением от центра разряда, отливки следует располагать по возможности ближе к разряду. Чаще всего электрический разряд создается непосредственно между электродом и отливкой, соединенной с электроцепью генератора (рис. 8.10). При этом разрядный канал проходит через слой воды и через заполненные водой поры в оболочке (рис. 8.10, а). При разряде происходит мгновенное испарение воды в разрядном канале. Корка оболочки или стержень разрушается на участке поверхности D_1 (рис. 8.11, б). При этом используется не более половины энергии разряда. С помощью акустического рефлектора можно расширить зону действия разряда на поверхность D_2 (рис. 8.10, в).

Электрогидроочистку ведут в воде на глубине не менее 50 см. Отлетающие частицы оседают на дно бака, а мелкие частицы остаются во взвешенном состоянии. Воздушный искровой разрядник выделяет при разряде озон и вредную для здоровья человека окись азота.

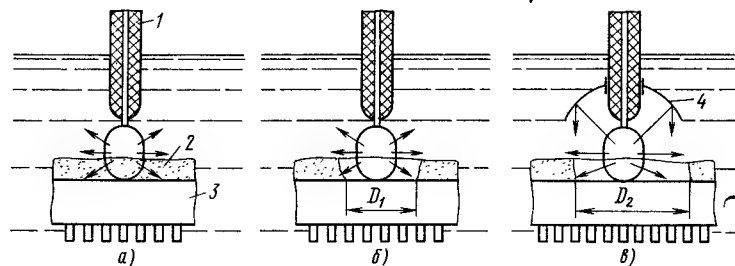


Рис. 8.10. Схемы действия электроразряда:

а — первый момент удара, образование канала; б — очистка разрядом поверхности отливки; в — очистка с применением рефлектора; 1 — электрод; 2 — оболочка; 3 — отливка; 4 — рефлектор

Применяется очистка ультразвуком. Для получения ультразвуковых волн используют ультразвуковые вибраторы. Опыты по применению ультразвуковых волн для очистки отливок показали значительное сокращение цикла выщелачивания. Отливки после кратковременного выщелачивания помещают в ванну с водой, где находится источник ультразвуковых волн. Размягченная оболочка под действием этих волн разрыхляется. Затем отливки снова переносят в щелочной раствор. После двух-трех циклов отливки полностью очищаются. Общая продолжительность очистки составляет 15—30 мин.

Фирма Detrex Corporation применяет ультразвуковую очистку отливок на установке, состоящей из генератора с выпрямителем мостикового типа с трубкой ртутных паров, осциллятора, контуров настройки и необходимых регулирующих и предохранительных устройств. Нить трубки получает питание от сети через трансформатор. Для обеспечения хорошей работы раствор непрерывно фильтруют, отделяя твердые примеси. Извлеченные из ванны отливки обдувают паром для быстрого высушивания.

Для очистки отливок ультразвуком необходимы сложные и дорогостоящие ультразвуковые генераторы больших мощностей, что сдерживает распространение этого метода. Проводятся работы по совершенствованию существующих и разработке новых способов очистки.

Фирмой Oetiker (ФРГ) создан станок с двумя колоколообразными емкостями, расположенными на карусели. В колокола насыпают абразив и отливки. Во время обработки емкости и карусель вращаются и под действием центробежной силы отливки очищаются.

Фирма Comco Inc. (Англия) для очистки сложных внутренних полостей и отверстий малого диаметра использует абразивную струю, подаваемую через ручной инструмент в виде карандаша. Диаметр сопла, вид абразива и давление можно изменять, что позволяет осуществлять различные виды очистки.

Для очистки можно использовать высоконапорную водяную струю, применяя для алюминиевых отливок давление 27,4 МПа; для

стальных — 58,3 МПа. Средняя скорость струи составляет 400 м/с.

Одна из американских фирм для очистки алюминиевых отливок вместо металлической дробы использует шарики диаметром 0,04 мм из натриево-известкового стекла твердостью HRC 44—50. Упругость таких шариков обеспечивает многократный их отскок при ударе, что ускоряет очистку и позволяет очищать труднодоступные участки. Отсутствие в стекле кристаллического кварца значительно снижает опасность заболевания силикозом.

В. А. Черников и В. П. Толмачев рекомендуют отделять отливки от стояка вибрацией, предварительно охладив блок до $-40 \dots -60^\circ\text{C}$. При этом эффективно отделяется от отливок оболочка.

По предложению Н. Е. Мартянова и Л. И. Рабиновича отливки помещают в герметичную камеру, куда подают пар. Давление в камере доводят до величины, соответствующей полному насыщению паром оболочки при данной температуре, и затем сбрасывают. Влага в ней мгновенно превращается в пар, который как бы «взрывает» оболочку.

Повышение давления ускоряет процесс химической очистки щелочами. Так, по пат. 3563711 (США) для очистки очень узких (до 0,8 мм) отверстий при глубине 60 мм применяют растворы щелочей с циклической сменой давления. При снижении давления в стержне образуются пузырьки водяных паров, при повышении — пузырьки лопаются, разрыхляя стержень. Перепад давления соответствует 0,001 и 0,5 МПа. При использовании 20 %-ного раствора NaOH, нагретого до 150°C , полная очистка узких отверстий происходит за 12 ч при 30-минутных циклах.

Интенсифицирует процесс очистки в расплавах щелочей введение 2—4 % пероксида натрия (Na_2O_2). По данным работы [61], скорость растворения оболочки в таком расплаве увеличивается в 4—8 раз по сравнению с очисткой в чистой NaOH. По патенту ЧССР для ускорения очистки в раствор KOH следует вводить 0,5—3 % анионов муравьиной, уксусной, щавелевой или винной кислоты.

8.7. РЕГЕНЕРАЦИЯ ФОРМОВЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Крошку, полученную после предварительной очистки отливок (вибрацией), особенно из дорогостоящих материалов (корунда, циркона и т. п.) можно использовать повторно. В цехе литья по выплавляемым моделям фирмы Orbis Allous (США) используют установку «SWECO», в которой оболочки размалывают и классифицируют по фракциям. Получают две крупные фракции для обсыпки блоков и две мелкие, используемые для приготовления суспензии. Только первый слой оболочковой формы изготавливают из свежих материалов. По сведениям фирмы стоимость установки окупается за шесть месяцев.

Остатки оболочки из кварцевых материалов обычно выбрасывают в отвал. Целесообразно перерабатывать их и в виде крошки использовать при формовке блоков перед прокаливанием. Применение пористой легковесной керамики снижает цикл прокаливания блоков.

Отходы после химической очистки обязательно следует нейтрализовать или регенерировать.

По существующей технологии щелочно-кремнеземистые растворы отстаивают в буферных емкостях от механических примесей (кварца, окислов и др.). Осадок вывозят в отвалы. Иногда осадок цементируется и его приходится разбивать механическим путем. Разделка твердого осадка и его транспортирование связаны с трудностями и неудобствами. На некоторых заводах используемые растворы перекачивают на очистные сооружения, где их нейтрализуют серной кислотой. Вывозка концентрированных щелочных осадков связана с загрязнением окружающей среды.

Иногда отходы после выщелачивания отливок используют для приготовления жидкого стекла [96]. Отход (шлам) содержит около 13 % SiO_2 , 54 % Na_2O , 0,8 % окислов железа и 6 % окислов других металлов. Шлам растворяют в горячей воде, добавляют щелочной раствор и пылевидный кварц. Затем полученную суспензию обрабатывают в автоклавах. Полученное жидкое стекло (стоимость его в 2 раза ниже покупного) используют в формовочных и стержневых смесях литейного цеха.

В Чувашском государственном университете разработаны рекомендации по переработке отходов после выщелачивания. Первый способ позволяет извлекать не менее 95 % щелочи из раствора. Для этого раствор с осадком в течение 3—4 ч обрабатывают острым паром, при этом температуру раствора повышают до $80\text{—}90^\circ\text{C}$. Затем раствор обрабатывают известью (молярное отношение $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1 : 1$) и связывают кремнезем в CaSiO_3 с выделением щелочи:



По второму способу из раствора получают дефицитный метасиликат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Горячую пульпу вначале фильтруют и, если она густая, разбавляют водой. В фильтрате раствора, получаемого на Чебоксарском агрегатном заводе, содержится, г/л: 150—300 NaOH, 6—8 Na_2CO_3 , 275—300 SiO_2 , 4—8 Fe_2O_3 ; $\text{pH} = 0,9\div 1,1$. Этот раствор легко кристаллизуется при охлаждении до $8\text{—}10^\circ\text{C}$ введением 20—30 г/л затравки $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в течение 3—5 ч. Кристаллы метасиликата натрия отделяют на вакуумфильтре. Маточник передается на приготовление свежего раствора, а метасиликат натрия используют, например, в гальванических цехах, в текстильной и цементной промышленности вместо соды, щелочи, тринатрийфосфата.

8.8. УДАЛЕНИЕ ОСТАТКОВ ЛИТНИКОВ

После отделения отливок от литниковой системы на них остаются приливы (выступы) от питателей, прибылей и выпоров. Их удаляют на наждачных станках. Чаще всего остатки литниковой системы удаляют на наждачных станках вручную, для чего рабочий, удерживающий отливку, подводит ее к поверхности круга.

При ручной зачистке отливки требуется напряженное внимание рабочего во избежание травмирования. Зачистка мелких отливок неудобна еще и тем, что они в процессе заточки нагреваются, это

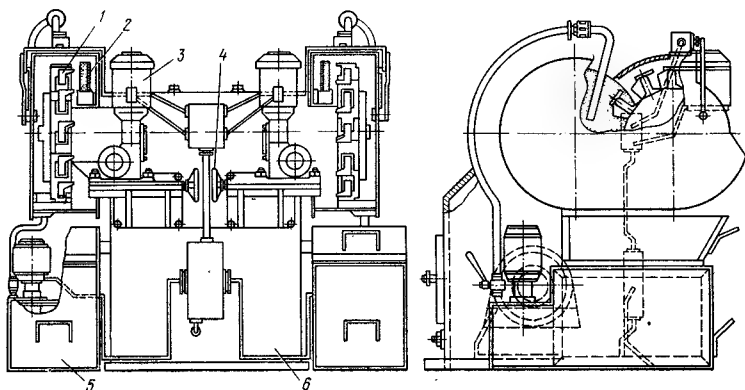


Рис. 8.11. Станок для зачистки остатков питателей

может привести к ожогам рук рабочих. Поэтому там, где возможно, необходимо применять приспособления, в которые можно было бы быстро вставлять обрабатываемые отливки.

При крупносерийном, а особенно массовом производстве отливок операции их зачистки механизмируют. Для этого применяют специальные обрубные прессы и шлифовальные установки.

Наждачный станок для зачистки питателей (рис. 8.11) состоит из основания 6, на котором смонтированы шлифовальная бабка с двумя абразивными кругами 2 и два приспособления 1 с приводами 3.

Отливки вручную устанавливают в приспособление и они автоматически закрепляются. Приспособление непрерывно вращается, и отливки, закрепленные в нем, подаются к шлифовальному кругу.

Расстояние от обрабатываемой отливки до шлифовального круга определяется ее габаритными размерами. Приспособление подводят и отводят вращением маховика 4. Станок снабжен системой охлаждения 5.

Приспособление с гнездами для одинаковых отливок устанавливают на корпусе станка. Отливки закладывают в зажимы и крепят рычагом, а после зачистки питателя они выпадают. Разжим происходит при нахождении отливок в нижнем положении приспособления. Производительность одного приспособления 2000 шт/ч.

Для обрубки питателей обычно применяют открытые прессы простого действия, например выпускаемые Барнаульским заводом механических прессов. Базовой моделью является пресс К2130. На стол прессы устанавливают и закрепляют приспособления, в которые закладывают отливки.

8.9. ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Термообработка литого металла характеризуется некоторыми особенностями по сравнению с термообработкой ковального или прокатанного. В отливках вследствие специфических условий их затвер-

девания наблюдается крупное зерно, обуславливающее обычно низкие механические свойства.

Термообработку применяют для получения необходимых механических свойств, обрабатываемости металла резанием и для снятия внутренних напряжений в отливках. Литая сталь до термообработки имеет грубую видманштеттову структуру. Грубозернистая структура и внутренние напряжения снижают механические свойства металла и приводят к деформации отливок. Для улучшения структуры и механических свойств применяют отжиг или нормализацию, которая является подготовительной, а часто и окончательной термообработкой, завершающей технологический цикл получения отливок по выплавляемым моделям.

В цехах с массовым выпуском отливок из углеродистой и низколегированных сталей наиболее распространенной термообработкой является нормализация.

Если термообработку отливок проводят в ящиках со стружкой (при окислительной среде в печи), то такой обработкой обычно является отжиг или процесс, средний между нормализацией и отжигом, так как трудно обеспечить необходимую скорость охлаждения отливок в ящике, не вскрывая его.

Различают три основных вида отжига.

1. Неполный отжиг, при котором металл нагревают лишь до температуры, несколько выше точки A_{c1} . Такой отжиг изменяет структуру перлита, но ферритная (цементитная) составляющая при этом не претерпевает изменения.

2. Полный отжиг, при котором температура на 20—40 °С выше точки A_{c3} . При этом достигается полная аустенизация структуры, т. е. полная структурная перекристаллизация.

3. Гомогенизация (диффузионный отжиг), при которой отливку нагревают до температуры значительно выше критического интервала $A_{c1}-A_{c3}$. Цель отжига — выравнивание состава путем диффузии.

Температуру нагрева при отжиге углеродистых сталей выбирают по диаграмме железо — углерод, а для легированных сталей — положением точки A_{c3} , определенной экспериментально.

Однако если после нагрева высоколегированных сталей выше A_{c3} охлаждение проводить медленно, то избыточная карбидная фаза (вторичный цементит) выпадает в виде сетки. Такая структура обладает низкой вязкостью и неудовлетворительна почти во всех случаях. Поэтому заэвтектоидные стали отжигают при температуре выше A_{c1} , т. е. им дают неполный отжиг.

Необходимость полного отжига доэвтектоидной стали обуславливает требование проведения фазовой перекристаллизации всей структуры. Грубозернистая структура литой стали переходит в мелкозернистую, что приводит к существенному улучшению механических свойств. Охлаждение после отжига должно быть медленным, чтобы обеспечить перекристаллизацию при небольшом переохлаждении аустенита ниже равновесной температуры A_{c1} . Обычно углеродистые стали охлаждают со скоростью 200 °С/ч; для низколегированных

сталей скорость должна быть снижена до 100 °С/ч; для высоколегированных — до 50 °С/ч.

В результате отжига получается структура: в доэвтектоидной стали — феррит + перлит; в эвтектоидной — перлит, в заэвтектоидной — цементит + перлит.

Чем выше скорость охлаждения, тем больше в структуре будет перлита и тем значительнее этот перлит будет отличаться по содержанию углерода от эвтектоидного (0,8 % С). Одновременно большая степень переохлаждения ведет к получению большой дисперсности перлита.

Очень медленное охлаждение приводит иногда к неудовлетворительным результатам. В доэвтектоидных среднеуглеродистых сталях при этом образуются крупные включения феррита; такая структура плохо гомогенизируется при нагреве под закалку, в местах бывших залеганий феррита аустенит содержит мало углерода, и в закаленной стали образуются мягкие зоны.

Нормализация — частный случай отжига. При нормализации сталь нагревают до температуры на 30—50 °С выше точки A_{c3} , но иногда и на 100—150 °С выше. Это так называемая высокая нормализация. Отливки после выдержки охлаждают на воздухе. Аустенит распадается при несколько большей степени переохлаждения, чем при отжиге, и поэтому образуются структуры более тонкого перлита. Нормализацию применяют для углеродистых и низколегированных сталей, так как охлаждение на воздухе средне- и высоколегированных сталей приводит к частичной или полной закалке и в структуре появляется мартенсит.

Чем больше аустенит в стали способен к переохлаждению, тем больше различие между отожженным и нормализованным состоянием. Это происходит при увеличении в стали углерода, что в первую очередь сказывается на изменении твердости в различных углеродистых сталях (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Твердость *HV* углеродистых сталей в отожженном и нормализованном состояниях

Состояние	Техническое железо	Конструкционная сталь			Инструментальная сталь
		мягкая	средняя	твердая	
Отожженное	80—100	125	160	185	220
Нормализованное	90—100	140	190	230	270

Для низкоуглеродистых нелегированных сталей нормализацию всегда следует предпочесть отжигу, так как при нормализации структура получается лучше и механические свойства (пластичность,

ударная вязкость) выше. Кроме того, нормализация проходит быстрее и она экономически выгоднее (термическая печь не занята в период охлаждения).

Для средне- и особенно высокоуглеродистых сталей различие в получаемых свойствах весьма велики, и поэтому вопрос о замене отжига нормализацией должен решаться конкретно в каждом случае. При нормальном содержании хрома и марганца в среднеуглеродистой стали получаемая после нормализации повышенная твердость не влияет заметно на обрабатываемость и другие технологические свойства, поэтому для сталей с содержанием 0,3—0,5 % С целесообразно также заменить отжиг нормализацией. Продолжительность нагрева и выдержки при температуре отжига или нормализации определяется временем, необходимым для сквозного прогрева всей отливки и для завершения структурных преобразований. При отжиге температура нагрева незначительно выше точки A_{c3} и превращения протекают медленно. Кроме того, из-за грубой литой структуры также требуется увеличение выдержки. Продолжительность выдержки при отжиге больше, чем при нормализации. Невозможно назвать единую продолжительность нагрева и выдержки отливок при термообработке, так как она определяется термическим оборудованием, размером отливок и их исходной структурой. Можно назвать в качестве ориентировочной практически распространенную норму, при которой продолжительность нагрева и выдержки при заданной температуре в сумме составляет 0,5—1 ч на каждые 25 мм толщины стенки отливки.

Для термообработки отливок, полученных по выплавляемым моделям, можно применять любые термические печи, описанные в литературе. Независимо от способа нагрева (электричеством или газом) и конструкции печей (камерные, методические, шахтные или конвейерные) необходимо выдерживать условие безокислительного нагрева, так как отливки имеют небольшие припуски и чистую поверхность.

Наиболее отвечают указанному условию печи с контролируемой средой, которые используют в цехах с крупносерийным и массовым производством отливок. При малых масштабах производства приходится применять печи с окислительной средой, в которых отливки термообработывают в ящиках с засыпкой их карбюризатором или чугунной стружкой.

Конвейерные электропечи для нормализации с контролируемой средой имеют производительность до 300 кг отливок в час с регулируемым путем изменения скорости движения ленты режимами термообработки. После термообработки в таких печах поверхность отливок получается серебристого цвета. Если на отливках имеется окалина (окисление верхних рядов отливок в блоке), то она восстанавливается и на отливках образуются отслоившиеся пленки восстановившегося железа, которые портят их внешний вид. В этом случае последующей операцией должна быть очистка в дробеструйном барабане или же предварительная очистка в галтовочных барабанах с одновременным выщелачиванием (см. п. 8.4).

При термообработке в расплавленных солях, совмещенной с очисткой от оболочки (продолжительность до 30 мин, температура 900—950 °С) рост зерна в сталях 20ХЛ, 40ХЛ и 55Л практически отсутствует. При переносе отливок в другой расплав (600—700 °С) происходит изотермический отжиг. Такая термообработка, по данным В. К. Доценко и О. К. Севрука, приводит к образованию равномерных и ненапряженных структур, придающих отливкам высокие прочностные и пластические свойства.

Во избежание обезуглероживания отливок из-за присутствия в расплавах окислов железа в ванну вводят карбид кремния в виде отходов абразивных карборундовых кругов или древесный уголь.

ГЛАВА 9

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Требования, которым должны отвечать литые детали в процессе работы, служат критерием для контроля качества отливок: точность размеров, шероховатость поверхности, плотность, свойства металла отливок, допустимость внутренних и наружных дефектов.

9.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТЛИВОК ПО ГРУППАМ КОНТРОЛЯ

В зависимости от требований к качеству отливок назначают методы их контроля. Все отливки по выплавляемым моделям разделяют на пять групп.

Группа 1. Отливки, работающие при максимальных для данного сплава нагрузках, поломка которых ведет к аварии машины, связанной с риском для здоровья и жизни людей. К этой группе можно отнести, например, литые турбинные лопатки авиационных двигателей, детали рулевого управления и тормозов автомобилей.

Группа 2. Отливки, поломка которых ведет к аварии машины, ее остановке, значительному ремонту, но не угрожает здоровью и жизни людей, например, лопатки трубокомпрессоров наземных двигателей внутреннего сгорания, клапаны, толкатели и некоторые другие движущиеся детали.

Группа 3. Отливки, при поломке которых требуется заменить их, например рычаг ручной подкачки бензина, рычаг привода акселератора автомобильного двигателя, литые кронштейны.

Группа 4. Детали, при поломке которых машина некоторое время может работать до планового ремонта или до остановки в конце смены, например кожухи, ненагруженные кронштейны.

Группа 5. Отливки, отсутствие которых ухудшает только внешний вид, но не работу машины, например эмблемы, декоративные детали.

Группу контроля отливок определяет конструктор машины и записывает в технические условия чертежа детали, исходя из которых, технологи совместно с работниками технического контроля назначают нормы и разрабатывают методы контроля.

Каждую отливку группы 1 контролируют с использованием общих и специальных методов: визуально для определения наружных дефектов, по геометрическим размерам, химическому составу, механическим и специальным свойствам; выявляют внутренние, а также невидимые невооруженным глазом поверхностные дефекты.

Отливки группы 2 контролируют по размерам и выявляют внутренние и внешние дефекты. От партии отливок одной плавки проверяют механические свойства на образцах. В ряде случаев проверяют специальные свойства.

Контроль отливок группы 3 включает проверку геометрических размеров и наружных дефектов, а также проверку химического состава сплава каждой плавки. Из механических свойств в некоторых случаях проверяют только твердость. Внутренние дефекты в отливках этой группы не контролируют.

У отливок группы 4 контролируют точность геометрических размеров и выявляют дефекты. Химический состав проверяют от каждой плавки или от сменной (суточной) партии плавков.

Отливки группы 5 проверяют только по внешнему виду и выборочно (от 10 до 1 %) — по геометрическим размерам. Химический состав отливок этой группы проверяют обычно 1 раз в сутки и он является факультативным.

Таким образом, для отливок различного назначения нормы и методы контроля различны.

9.2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Контроль химического состава сплава. Химический состав сплава контролируют лабораторным анализом. При выплавке сплава в цехе из исходных материалов непосредственно перед заливкой форм следует проверять 100 % плавков на основные элементы сплава и вредные примеси. При наличии сертификатов на исходные материалы (например, на сталь, ферросплавы), точном соблюдении технологического процесса плавки, а также периодической проверке навесок шихтовых материалов на некоторых заводах контроль всех плавков заменен контролем химического состава каждой десятой плавки по одному или нескольким элементам сплава, содержание которых сильно колеблется. В случае такого контроля по результатам химического анализа каждой десятой плавки ОТК решает вопрос выпуска в производство всех десяти плавков. Если результаты анализа десятой плавки неудовлетворительны, проводится контроль каждой плавки.

Если шихтой является готовый проверенный сплав и используются строго маркированные литейные отходы, при их надежном хранении можно допустить контроль химического состава сплава, беря пробу от одной отливки в сутки.

Состав сплава определяют методами химического и спектрального анализов.

Химический анализ позволяет выделить в чистом виде или в виде соединений отдельные элементы сплава и определить их процентное содержание. При содержании определяемого элемента в сплаве больше 1 %, этот метод достаточно точен, но длителен (до нескольких часов).

Спектральный анализ основан на рассмотрении спектра излучений при воздействии дугового разряда на поверхность анализируе-

мого сплава. По сравнению с химическим анализом он имеет следующие преимущества: быстрота анализа (для количественного анализа фотографическим методом требуются 15—25 мин, а при сортировке металла для одного анализа достаточно 1—2 мин); высокая точность определения большинства элементов; универсальность (одно и то же оборудование для разных сплавов); определение химического состава практически без повреждения образца или детали; возможность сохранения пластинок со спектрами.

Спектральный анализ состоит из пяти этапов: превращение пробы в газ, возбуждение свечения газа, разложение светящегося газа в спектр, фиксация спектра, качественная оценка (измерение интенсивности спектральных линий). Для работы по перечисленным этапам необходимо специальное оборудование: спектрограф с генератором искры или дуги, стилоскоп, микрофотометр, спектропроектор.

С использованием современных многоканальных спектроскопических квантометров можно за 4—6 мин провести полный химический анализ сплавов с содержанием до 20 элементов, при концентрации их от 0,001 до 20,0 %, что особенно ценно в массовом производстве.

При литье по выплавляемым моделям пробу на химический и спектральный анализ обычно выполняют в виде прилитого к блоку образца, с которого берут стружку для химического анализа, а оставшуюся часть образца используют для спектрального анализа.

В мировой практике созданы быстродействующие специальные приборы для анализа элементов сплава. Эти приборы основаны на использовании инфракрасного анализатора, а не химического или физико-химического метода анализа.

Для определения серы и фосфора на приборе Leco CS-46 (ФРГ) затрачивают не более 30 с. Образец сжигают в индукционной печи в кислороде. Продукты сгорания CO , CO_2 и SO_2 измеряются по отдельности специальными детекторами инфракрасного излучения. Выходные сигналы детекторов суммируют электронным способом. Диапазон концентрации проверяемых в сплавах элементов: от 0,0001 до 5,000 % C; 0,0001 до 0,2S. Точность определений ± 1 % содержания S и ± 3 % содержания S.

За 90 с можно определить содержание азота в сплаве на приборе N2A 2002 фирмы Leybold—Heraeus (ФРГ). Аналоговый выход прибора — детектор теплопроводности.

К рассмотренным приборам можно подключать буквопечатающие аппараты для регистрации результатов анализов.

Визуальный контроль отливок. Контроль внешним осмотром проводят после первичной очистки блоков отливок, что позволяет более точно определить причин брака. При этом проводят разбраковку всей партии отливок по внешним дефектам, видимым невооруженным глазом. Контролер сравнивает обнаруженный дефект с допустимым по утвержденному эталону или описанию в технических условиях на отливку. Отливки с дефектами, превышающим допустимые, после отрезки от литников бракуют или направляют на исправление.

Бракованные отливки следует изолировать, с тем чтобы они случайно не попали в годные.

Забракованные контролером отливки должны быть классифицированы по видам брака. Результаты разбраковки партии отливок следует фиксировать в журнале, указывая общее число изготовленных отливок, а также число годных и забракованных по каждому виду брака. Так, устанавливают преобладающие виды брака и намечают пути его предупреждения (см. табл. 9.1).

Контроль размеров отливок. Размеры отливки контролируют по ее чертежу. Периодически следует проверять все размеры отливок. Такой контроль производят при запуске в производство новой пресс-формы, а также после ее ремонта. При этом обмеряют все отливки одной или нескольких партий по всем размерам, указанным в чертеже, применяя в ряде случаев разрезку части отливок по сечениям и разметку. Разметка отливок позволяет проверить наличие необходимых припусков на обрабатываемых поверхностях. При длительной работе пресс-формы изнашиваются, что приводит к изменению размеров отливок. Стальные пресс-формы следует проверять после съема с них 100—150 тыс. моделей, алюминиевые — после съема 10—15 тыс. моделей, литые из легкоплавких сплавов — после съема 1—2 тыс. моделей. Периодическая проверка размеров отливок и своевременное исправление пресс-форм обеспечивают поддержание точности отливок на требуемом уровне.

Для гарантии правильного выполнения размеров сложных сечений, например, турбинных лопаток, целесообразно при разметке с разрезкой по сечениям использовать проектор (компаратор). Для этого в заданном масштабе 10 : 1 или 20 : 1 вычерчивают теоретический профиль проверяемого сечения. Вырезанный из лопатки темплет устанавливают на проектор (строго по сечению), и его изображение в заданном увеличении переносят на кальку. Затем полученное изображение профиля реального сечения совмещают с вычерченным теоретическим профилем (рис. 9.1). Отклонения, выявленные при совмещении профилей, позволяют более точно выполнить лекальную доводку сложных профилей турбинных лопаток, лопастей компрессоров, вентиляторов, судовых гребных винтов и других подобных сложных отливок.

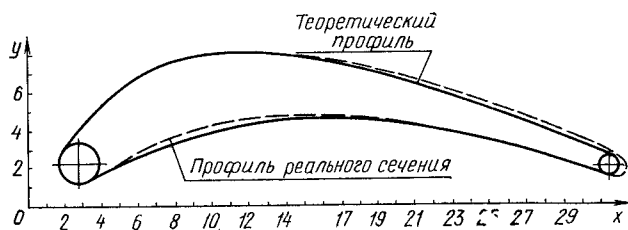


Рис. 9.1. Схема замера сечений лопаток на проекторе:

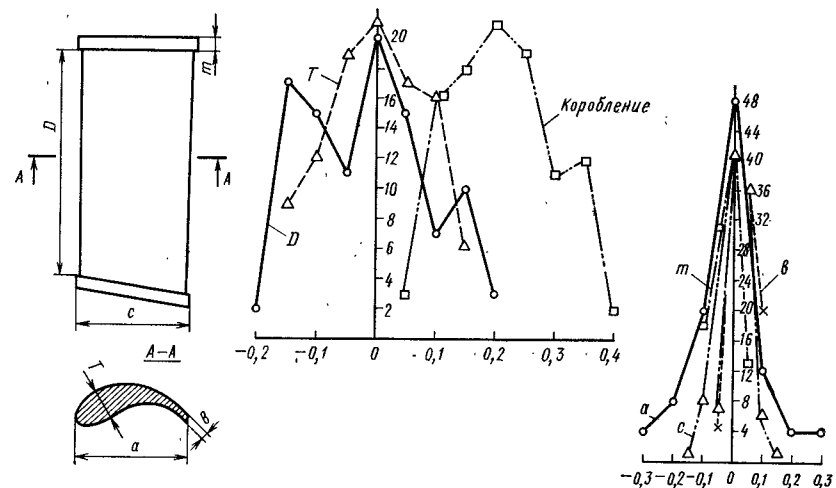


Рис. 9.2. Точность размеров отливок лопаток компрессора из стали 09Х17Н3СЛ. Максимальный размер 120 мм

Размер	Число случаев при отклонении, мм												
	-0,30	-0,25	-0,20	-0,15	-0,10	-0,05	0,0	+0,05	+0,10	+0,15	+0,20	+0,25	+0,30
D	—	—	2	17	15	11	20	15	7	10	3	—	—
T	—	—	—	9	12	19	21	17	16	6	—	—	—
c	—	—	—	1	8	7	41	36	6	1	—	—	—
b	—	—	—	—	—	5	40	35	20	—	—	—	—
a	4	—	8	—	20	—	48	—	12	—	4	—	—
m	—	—	—	—	18	31	38	13	—	18	21	19	11
Коробление выходной кромки	—	—	—	—	—	—	—	3	16	—	—	—	2

Размер	D	T	c	b	a	m	Коробление выходной кромки
Поле отклонения, мм	±0,2	±0,15	±0,15	±0,075	±0,30	±0,075	0,35

Постоянно надлежит контролировать размеры, колеблющиеся вследствие разной усадки или коробления моделей и отливок. На рис. 9.2 приведены абсолютные значения отклонений размеров литых спрямляющих лопаток компрессора из стали 09Х17Н3СЛ. Размеры c и m полностью зависят от размеров пресс-формы и их постоянно не контролируют. Размеры a , b , D , T и величина коробления выходной кромки колеблются сильнее и нуждаются в проверке при контроле каждой отливки. На эти размеры, кроме размеров пресс-формы, влияют: на a и b — облой на моделях, зачищаемый вручную, и

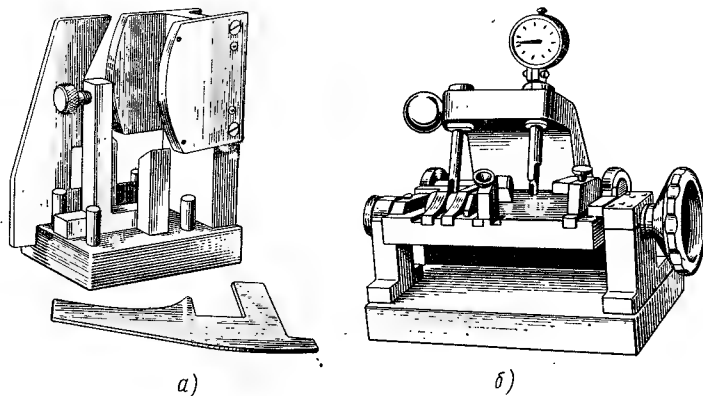


Рис. 9.3. Приборы для контроля турбинных лопаток:
а — для проверки профиля шаблонами; б — для проверки профиля индикатором по копиям

зачистка отливок абразивным кругом; на D — затрудненность усадки отливки, неравномерность уплотнения опорной формовочной смеси (особенно при жидком отверждаемом наполнителе), различная податливость формы; на T — неравномерность усадки, прочность оболочки, изменения условий питания отливки расплавом в процессе кристаллизации.

В рассматриваемом случае особенно сильно колеблется коробление выходной кромки, а значит, и всей отливки. Коробление зависит от температурных режимов изготовления и хранения моделей, от условий кристаллизации и остывания отливок.

В серийном и массовом производстве постоянно контролируемые размеры отливок проверяют специальным инструментом: проходными и непроходными калибрами (пробками), скобами, в мелкосерийном производстве — универсальным мерительным инструментом: штангенциркулями и микрометрами. Некоторые сложные отливки, где кроме абсолютных размеров важно взаимное расположение отдельных поверхностей и сечений, проверяют в специальных приборах с помощью шаблонов и калибров. На рис. 9.3 представлены два типа приборов для контроля турбинных лопаток.

Сложность измерения толщин стенок охлаждаемых полых турбинных лопаток обусловили разработку и применение электрических толщиномеров, в основу которых положено устройство микрометра. Толщины стенок лопатки определяются путем измерения сопротивления на контролируемом участке отливки. Для градуировки прибора применяют точно изготовленный слупенчатый эталон из того же сплава, что и отливка. Толщины стенок измеряют в заданных точках сечений по специальному накладному шаблону, отверстия в котором соответствуют расположениям точек измерения.

Электрический толщиномер пригоден для толщин стенок 0,8—3,5 мм. С увеличением толщины стенок погрешность измерения возрастает.

Реже применяют электромагнитные способы измерения.

Проверку отливок в литейном и механическом цехах следует вести от одних и тех же баз. Только при этом условии в контроле их будет соблюдена необходимая идентичность.

Контроль механических свойств отливок. О механических свойствах отливок судят по их твердости, сопротивлению растяжению, относительному удлинению образцов, относительному сужению площади поперечного сечения образцов, ударной вязкости. Испытания на изгиб, сжатие, кручение, срез, усталостные проводят в редких случаях, когда с учетом условий службы деталей эти виды контроля указаны на чертеже. Отливки из жаропрочных сплавов, работающие при высоких температурах, испытывают на жаропрочность.

Контроль твердости осуществляют после термообработки отливок. Обычно по выплавляемым моделям отливают тонкостенные детали. Проверку их твердости удобнее вести на приборе ТК (по Роквеллу), который оставляет незначительный отпечаток на отливке.

Литейная корка отливки, застывающая в первую очередь, имеет иную структуру, чем ее тело. Так как поверхность отливки может быть обезуглероженной или окисленной, ее для определения истинной твердости зачищают на глубину 0,5—1 мм. Твердость проверяют непосредственно на отливках, не делая образцов. Отливки проверяют на твердость по нормам контроля в количестве 1—10 % одной плавки или термосадки.

Контроль механических свойств отливок на растяжение проводят на специальных литых или вырезанных из литых заготовок (брусков) и механически обработанных образцах. Определяют предел текучести σ_t , временное сопротивление при растяжении σ_b , одновременно относительное удлинение δ и относительное сужение площади поперечного сечения ψ . Эти величины наиболее полно характеризуют прочность и пластичность металла отливок.

Для испытаний на растяжение используют разрывные машины типа пресса Гагарина, например универсальные машины ИМ-4Р, ИМ-12А, ЦНИИТмаш, новые машины высокой точности типа Инстрон, обеспечивающие плавность статического нагружения, регулирования скорости испытаний, точность показаний нагрузки не менее $\pm 1\%$. Скорость перемещения захвата машины при испытаниях должна быть не более 4 мм/мин до появления текучести и не более 20 мм/мин за пределом текучести.

Важное значение имеет выбор метода литья заготовок для образцов. Для тонкостенных отливок из сталей и жаропрочных сплавов наиболее подходят образцы, испытываемые на растяжение, по ГОСТ 1497—73 (СТ СЭВ 471—77) с начальной расчетной длиной $l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$ (короткие образцы). Длинные образцы $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$ диаметром $d_0 = 10$ мм труднее получить без литейных дефектов. Образцы диаметром 5—6 мм полнее характеризуют механические свойства отливок по выплавляемым моделям с толщиной стенок в 2—7 мм, которые в практике наиболее распространены. В стандарте указано, что применение коротких образцов предпочтительнее.

Литые образцы и образцы из хрупких металлов указанным стандартом допускается изготавливать с начальной расчетной длиной $l_0 = 2,82 \sqrt{F_0}$.

Размеры и предельные отклонения по рабочей части цилиндрических образцов приведены в ГОСТе.

При диаметре рабочей части литых механически обработанных образцов $d_0 \leq 10$ мм допустимые отклонения на этот размер составляют ± 2 мм.

Существует мнение, что отдельно отлитые и прилитые к отливкам образцы не отражают истинных механических свойств материала отливки вследствие различных условий питания при кристаллизации. Это мнение, очевидно, справедливо при получении отливок в песчаных формах. Однако при литье в горячие формы тонкостенных отливок и образцов по выплавляемым моделям различия в механических свойствах металла отливок и отлитых отдельно этим же методом образцов незначительны, при условии удовлетворительного питания отливок и образцов и отсутствия литейных дефектов.

В разное время исследователи (И. И. Горюнов, Н. М. Тучкевич, Ф. И. Аксенов, В. Н. Иванов, Б. С. Курчман, Ю. А. Нехендзи) предлагали различные методы отливки по выплавляемым моделям образцов для механических испытаний [41]. Ниже приведены только некоторые, представляющиеся оптимальными методиками литья образцов.

Все исследователи сходятся во мнении, что свойства образцов, вырезанных из отдельно отлитых брусков стандартной формы — трефовидной и клиновидной (рис. 9.4, а и б) наиболее высокие, так как в местах вырезки образцов обеспечиваются наиболее благоприятные условия питания. Значения свойств этих образцов существенно превышают значения свойства материала реальных отливок, для которых далеко не всегда можно обеспечить такое надежное питание и условия направленного затвердевания. Правда, в некоторых случаях значения механических свойств образцов из трефовидного бруска (см. рис. 9.4, а) получаются заниженными. Это наблюдалось, например, при литье жаропрочного сплава в вакууме, когда значения свойств образцов, вырезанных из бруска указанной формы, были на 15—24 % ниже значений свойств индивидуально отлитых образцов, залитых также в вакууме, и образцов из трефовидных брусков, отлитых при атмосферном давлении. Причина этого в том, что кристаллизация в вакууме для отливок больших сечений неблагоприятна, так как в процессе затвердевания расплава не проявляется уплотняющее отливку действие на него атмосферного давления.

Большой объем механической обработки при изготовлении образцов, вырезаемых из трефовидных и клиновидных брусков (рис. 9.4, а и б), а также из отлитых пальчиковых образцов по методике ГОСТ 2176—77 вызывает серьезные затруднения, вследствие чего эти отливки при литье по выплавляемым моделям не получили широкого распространения.

Для определения действительных механических свойств тонкостенных отливок по выплавляемым моделям, на наш взгляд, целесо-

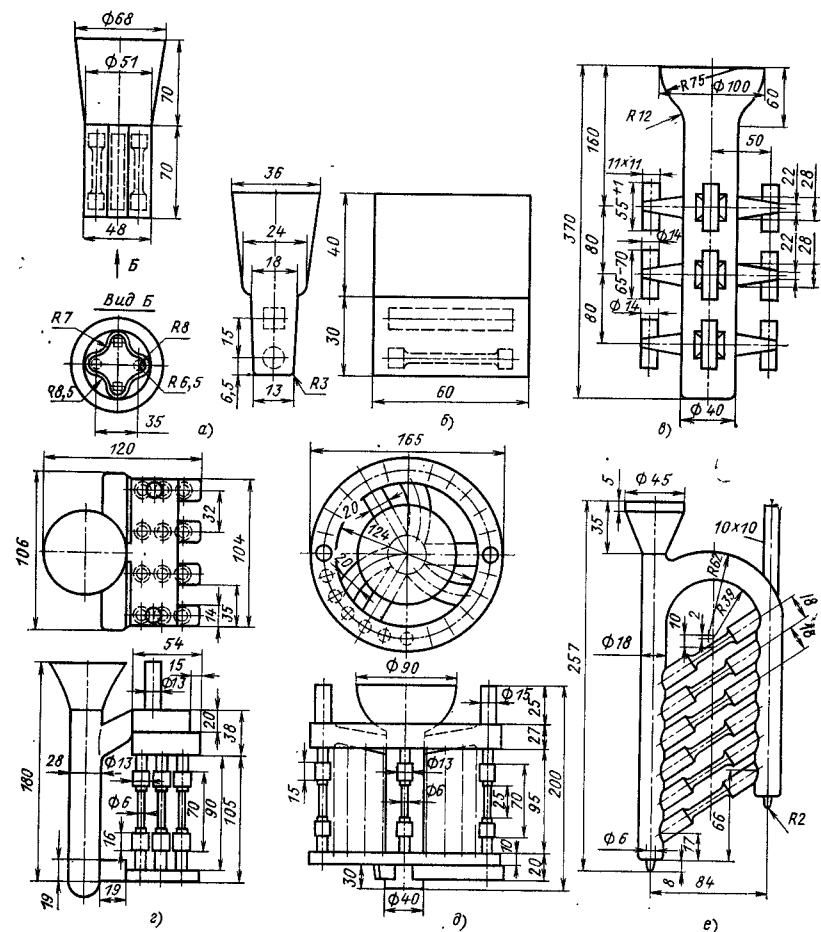


Рис. 9.4. Конфигурация литых заготовок образцов для испытаний на растяжение: а — трефовидная; б — клиновидная; в — «пальчиковая»; г — блоков с горизонтальными коллекторами; д — блок с кольцевыми коллекторами; е — блок с отводным вертикальным коллектором

образно применять отдельно отлитые образцы, сечение и методика литья которых близки к реальным. Эти образцы изготавливают с минимальной механической обработкой. Для жаропрочных сплавов, обрабатываемость которых затруднена, Б. С. Курчманом предложены и опробованы литые образцы типа гагаринских, которые могут быть использованы с сохранением литейной корки, изготовлены с минимальной механической обработкой, без нарезки резьбы и проточки рабочей части. Такие образцы ближе по свойствам к необрабатываемым отливкам по выплавляемым моделям. При испытании этих образцов применяют литые захваты из жаропрочных сплавов (рис. 9.5).

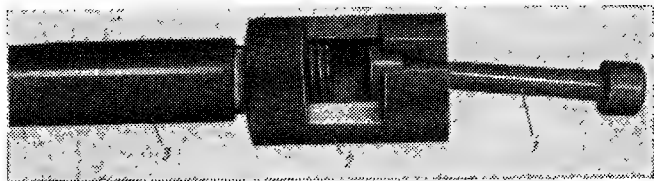


Рис. 9.5. Приспособление для испытания образцов в литом состоянии без механической обработки:

1 — образец; 2 — захват; 3 — тяга

Из большого количества конструкций блоков литых образцов, опробованных в разное время, можно рекомендовать предложенные Ю. А. Нехендзи (рис. 9.4, е) и Б. С. Курчманом (рис. 9.4, з, д). В этих конструкциях обеспечивается надежное питание горячим металлом обеих головок образцов; последовательная заливка образцов по длине рабочей части без встречных потоков, которые могут привести к сработкам в рабочей части; предотвращение возможности затекания металла в некоторые образцы при заливке до их сифонного заполнения; расположение образцов в блоке, при котором обеспечиваются преимущественно равные условия их заливки.

Для проверки свойств металла (отвлеченно от отливок) целесообразно использовать образцы, вырезаемые из отдельно отлитых стандартных брусков клиновидной и тrefовидной форм.

Литье по выплавляемым моделям получило широкое распространение для изготовления деталей ответственного назначения, работающих в условиях воздействия высоких температур, например литых рабочих турбинных колес турбокомпрессоров автомобильных дизельных двигателей, длительно работающих при температурах до 750 °С. В зависимости от условий работы литых деталей контрольные образцы от их партии (от плавки или термосадки) проверяют на растяжение при повышенных температурах (кратковременные испытания) и жаропрочность (или длительную прочность). При кратковременных испытаниях определяют σ_b , δ , ψ как и при обычных испытаниях на растяжение. Образец и захваты машины помещают в трубчатую печь с регулируемой и контролируемой температурой. Образцы нагружают после их нагрева в течение 30 мин при заданной температуре испытаний.

Длительной прочностью называют свойство сплава противостоять разрушению под длительным действием постоянно приложенной нагрузки при заданной повышенной температуре. Принятое при испытании длительной прочности обозначение $\sigma_{100\text{ ч}}^{800\text{ °С}} = 140\text{ МПа}$ показывает, что образец в течение 100 ч при температуре 800 °С выдерживает указанное напряжение.

В исследовательских работах, например, при создании новых жаропрочных сплавов, проводят также испытания длительной прочности с учетом деформации образца (так называемой ползучести сплава).

Испытание длительной прочности и ползучести проводят, например, на рычажных разрывных машинах МП-4, ЯБ-1, АИМА-5, на которых устанавливают печь и создают постоянно действующую нагрузку на образец. В условиях испытаний образец должен простоять под действием постоянно приложенной нагрузки и постоянной температуры определенное время (например 100 или 1000 ч). Параметры испытаний указывают в технических условиях на сплав.

Контроль структуры отливок. Квалифицированный анализ структуры металла отливок может дать много сведений об их свойствах. По характеру излома, например, можно оценить чистоту металла отливки от неметаллических включений, величину зерна, пластичность сплава. По макроструктуре можно определить величину зерна и характер кристаллизации отливки, в некоторых случаях — фактическую температуру заливки. Макроструктуру отливки исследуют без увеличения на конкретной детали.

Более тонкое исследование структуры проводят на шлифах, вырезанных из контролируемой части отливки. При рассмотрении микроструктур при значительном увеличении (в 100—500 раз и более) можно определить структурные составляющие, характер структурного упрочнения сплава: выявить упрочняющие фазы — карбиды, нитриды, интерметаллиды. Металлографический анализ микроструктур позволяет судить о химическом составе и механических свойствах материала отливок, выявлять неметаллические включения, вредные примеси в металле.

Наиболее простым методом анализа структуры является рассмотрение изломов металла с помощью луп.

Для исследования макроструктуры отливку следует подготовить: очистить, разрезать по контролируемому сечению, иногда механически обработать до требуемой чистоты и протравить для отчетливого выявления макроструктуры.

Макроструктуры отливок лопаток автомобильного двигателя из железоникелевого сплава представлены на рис. 9.6. При литье по выплавляемым моделям величина зерна зависит от температуры металла и формы. Например, металл или форма при заливке лопатки, показанной на рис. 9.6, слева имела меньшую температуру, чем для лопатки, показанной справа.

Исследования микроструктуры проводят на полированных травленых шлифах, вырезанных из отливки. Структуры сплава исследуют с помощью оптических микроскопов МИМ-7, МИМ-8 и других при увеличении до 2000. На практике чаще всего пользуются увеличением в 100—500 раз.

Электронные микроскопы, разрешающая способность которых в десятки раз выше, чем оптических, вследствие меньшей длины волны электронного излучения, позволяют исследовать микроструктуры с увеличением в 10—40 тыс. раз и более. Уже применяют микроскопы, на которых достигают увеличений в 500 тыс. раз. При этом можно вести исследования на уровне величин нескольких атомных радиусов (до 0,9 нм).

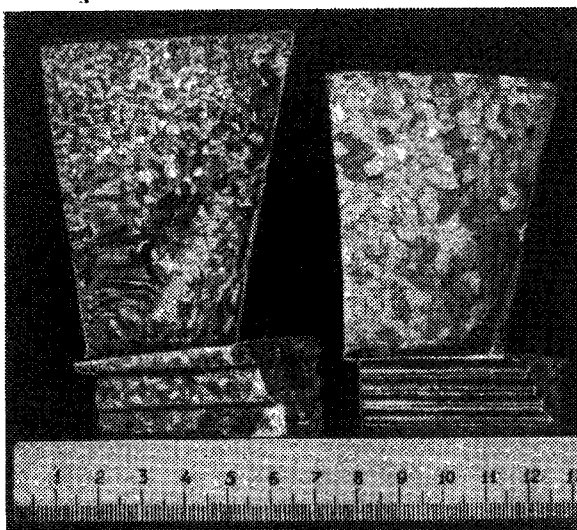


Рис. 9.6. Макроструктура литых рабочих лопаток турбины из железоникелевого сплава

На рис. 9.7 приведена для примера микроструктура рабочего колеса турбокомпрессора дизельного двигателя из никельхромового жаропрочного сплава типа Inco 717C. При увеличении в 100 раз (рис. 9.7, а) хорошо видны границы зерен сплава с цепочкой упроч-

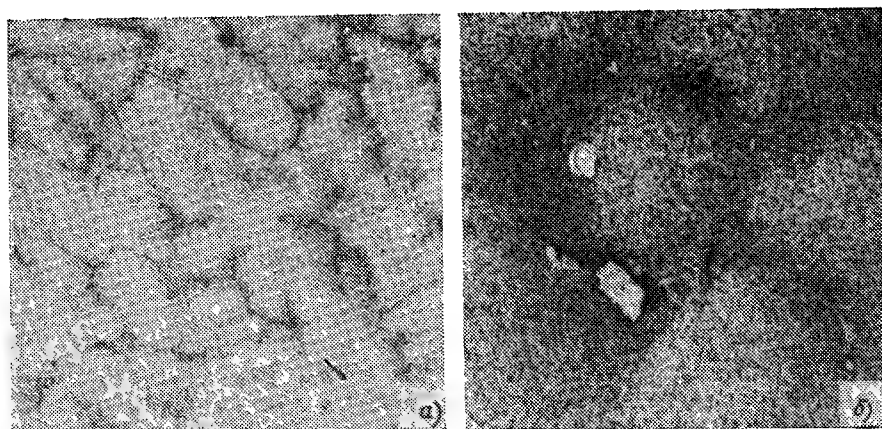


Рис. 9.7. Микроструктура литого рабочего колеса турбокомпрессора дизельного двигателя из сплава Inco 717C:
а — $\times 100$; б — $\times 400$

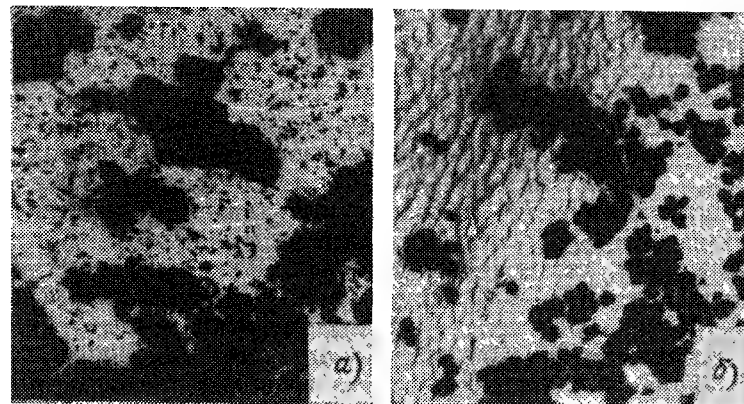


Рис. 9.8. Электронные микрофотографии шлифов, вырезанных из турбинных лопаток:
а — сплав АНВ-300 (0,08 % С); б — сплав АНВ-300У (0,30 % С), $\times 5000$

няющих мелких карбидов хрома. При увеличении в 400 раз (рис. 9.7, б) выявлена основная упрочняющая интерметаллидная γ' -фаза на основе соединения $Ni_3(Ti, Al)$ и карбидная сетка по границам зерен. По границам зерен также располагаются карбиды титана (светлые включения).

На рис. 9.8 приведены микроструктуры турбинных лопаток автомобильных двигателей из сплавов АНВ-300 и АНВ-300У, отличающихся различным содержанием углерода. Повышение содержания с 0,1 до 0,35 % С позволило повысить жаропрочность сплава на 30 % при совместном интерметаллидном и карбидном упрочнении. На электронной микрофотографии отчетливо видно благоприятное измельчение интерметаллидной фазы с повышением концентрации углерода в сплаве.

Для более точной расшифровки сплава по содержанию отдельных фаз, выявления их химического состава применяют рентгеноструктурный анализ. Он основан на свойстве строго определенных для данной фазы кристаллических решеток отражать под определенными углами, в зависимости от расположения кристаллических плоскостей, рентгеновские лучи. Результат рентгеноструктурного анализа — характер отражения рентгеновских лучей от кристаллических плоскостей — фиксируется на фотопленке в виде дебаеграммы, на которой получают изображения, аналогичные поверхностям, проведенным через группы атомов определенной кристаллической решетки. С помощью имеющихся формул и таблиц специалист идентифицирует кристаллическую решетку соединения металлической или интерметаллидной фазы.

Реактивы для травления образцов при исследованиях макро- и микроструктур приведены в специальной литературе по металлографии.

Контроль отливок на отсутствие трещин. Трещины в отливках иногда бывают исчезающе малыми, незаметными при визуальном контроле. При контроле внутренних дефектов рентгенопросвечиванием трещины также трудно выявить из-за большой массы просвечиваемого металла.

Для выявления трещин в отливках используют специальные методы контроля: магнитный, люминесцентный и цветной дефектоскопии.

Магнитный контроль применим для сталей и сплавов, обладающих магнитными свойствами. Принцип магнитной дефектоскопии основан на том, что в намагниченной отливке трещины искажают магнитное поле и силовые линии концентрируются по границам трещин. Намагниченную с помощью магнитного дефектоскопа отливку погружают в суспензию с магнитным порошком, который концентрируется и удерживается на границах трещины, делая ее видимой.

Для обнаружения трещин отливку намагничивают так, чтобы силовые линии магнитного поля пересекали дефект под прямым углом. Поэтому для выявления поперечных трещин применяют намагничивание отливки продольным магнитным полем, а для выявления косорасположенных трещин — циркулярное намагничивание. Для выявления трещин любого направления используют комбинированное намагничивание. Перед испытанием отливку обезжиривают. Для обнаружения трещин на фоне отливки применяют чувствительные ферромагнитные черные порошки из магнитной окиси железа.

Люминесцентный или флюоресцентный способ выявления дефектов применим ко всем материалам в тех случаях, когда дефекты выходят на поверхность, в том числе и для немагнитных сплавов.

Флюоресценция — свойство вещества поглощать свет одной длины волны и превращать его в свет другой длины волны. Для дефектоскопии используют невидимый глазом ультрафиолетовый («черный») свет, под действием которого флюоресцирующая жидкость ярко светится.

Предварительно очищенные и обезжиренные отливки погружают на 10—20 мин в ванну с флюоресцирующей жидкостью. Под действием капиллярных сил жидкость проникает в трещины или другие дефекты. Излишек жидкости, оставшейся на поверхности отливки, смывают водой. В дефектах жидкость задерживается. Затем «проявляют» дефекты, для чего отливки опыляют порошком, адсорбирующим жидкость при выдержке 5—10 мин. Порошок не флюоресцирует, но способствует лучшему выявлению дефектов. Покрывая поверхность отливки тонким ровным слоем, порошок гасит флюоресценцию жидкости, оставшейся частично не смытой с поверхности и тем самым уменьшает фон. В местах расположения дефектов порошок впитывает жидкость, вытягивает ее на поверхность. После этого отливки облучают ультрафиолетовым светом. Жидкость, вытянутая порошком на поверхность, флюоресцирует, обрисовывая дефекты в виде ярких, легко видимых глазом светящихся линий.

Обычно используют флюоресцирующую жидкость состава: 85,7 % очищенной нефти, 9,3 % олеиновой кислоты и 5 % триэтаноламина. Проявителем служат сухие тонкие порошки окиси магния, углекислого магния, мела, талька, пылевидного кварца. В качестве источника ультрафиолетового излучения используют ртутно-кварцевые лампы ПРК-4 или ПРК-2 с приборами включения. Светофильтром для получения «черного света» служит увиолевое стекло. Это стекло пропускает ультрафиолетовый и близкий к нему фиолетовый участки спектра, остальная часть спектра стеклом задерживается.

Сущность метода цветной дефектоскопии заключается в том, что отливку смазывают легкоподвижной краской, способной проникать в мельчайшие дефекты. Затем краску с поверхности смывают и отливку вновь смазывают другой краской — фоном, обладающей поглотительной способностью. На фоне из дефектов выступает ранее нанесенная краска, обозначая тем самым места расположения дефектов.

В состав легкоподвижной краски входит 10 г жирорастворимого темно-красного красителя «судан IV» на 1 л раствора, состоящего из масла МК-8 и бензола; поглощающая белая краска состоит из 700 см³ коллодия, 100 см³ ацетона, 200 см³ бензола и 50 г густотертых цинковых белил на 1 л жидких составляющих.

Отливки обезжиривают ацетоном, протирают чистой ветошью, просушивают в сушильном шкафу; затем их окунают в красную краску 2—3 раза с интервалом 2—3 мин. Можно наносить краску пульверизатором или кистью. После выдержки (2—3 мин) красную краску с поверхности отливки снимают ветошью, смоченной смесью керосина и трансформаторного масла (70 : 30). На отливку быстро (окунаем или кистью) наносят белую краску ровным тонким слоем. После подсушивания краски осматривают дефекты. Трещины выявляются четкими красными линиями на белом или розоватом фоне. Раковины и поры — красными точками. Более глубоким дефектам соответствует более яркая красная окраска.

При цветной дефектоскопии необходимо работать с вытяжной вентиляцией и соблюдать меры противопожарной безопасности, так как применяемые материалы токсичны и огнеопасны.

Контроль внутренних дефектов в отливках. Внутренние дефекты отливок могут быть выявлены при просвечивании отливок рентгеновскими лучами.

Проходя через металл отливки, благодаря малой длине волны (0,31—0,0006 нм) рентгеновские лучи частично пронизывают металл, а частично отражаются многочисленными поверхностями металлических кристаллов, создавая рассеянное вторичное рентгеновское излучение. Интенсивность поглощения рентгеновских лучей металлом зависит от плотности элемента и от его места в периодической системе элементов Д. И. Менделеева (от атомного номера). Чем больше атомный номер просвечиваемого элемента, тем больше он поглощает рентгеновских лучей. Рентгеновские лучи также обладают свойством оказывать химическое действие, что используют в процессе дефектоскопии для получения рентгеновского снимка на фотографической

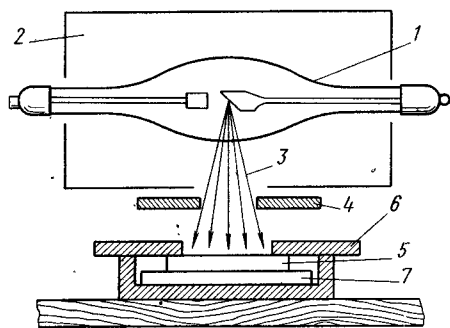


Рис. 9.9. Схема просвечивания отливки:
1 — рентгеновская трубка; 2 — бленда;
3 — луч; 4 — свинцовая диафрагма; 5 —
отливка; 6 — защитные свинцовые листы;
7 — кассета с фотопленкой

пленке. Поглощенная энергия рентгеновских лучей вызывает появление «скрытого изображения» вследствие изменений находящегося в эмульсии бромистого серебра и превращения его в металлическое.

Наиболее распространен фотографический метод рентгенодефектоскопии (рис. 9.9). На пути рентгеновских лучей выходящих из фокуса анода рентгеновской трубки, устанавливают отливку, а за ней фотографическую пленку в кассете или черной светонепроницаемой бумаге, но хорошо проницаемой для рентгеновских лучей. Если на пути лучей встретятся пустоты в отливке (раковины, рыхлоты), то проекция этих мест на фотопленке будет более темной.

Не только пустоты, но и ликвация в отливках, когда в общей металлической массе встречаются более или менее плотные участки с иным химическим составом, хорошо выявляются при рентгенодефектоскопии в виде более темных или более светлых участков на негативе.

Контрастность и четкость негативов важны для правильной оценки дефектов. Они зависят от длины волны рентгеновского излучения, величины рассеянного излучения, фокуса трубки, расстояния до пленки и применяемой фототехники.

Для предотвращения рассеяния излучения, снижающего контрастность снимка, применяют диафрагмы, экраны и фильтры из свинца. Помещая их в виде фольги между отливкой и пленкой, можно ослабить эффект рассеяния, так как часть излучения поглощается фольгой.

Фототехника, применяемая в рентгенодефектоскопии, описана в специальной литературе.

Стопроцентному рентгеновскому контролю подвергают отливки наиболее ответственного назначения, когда поломка детали может вызвать опасность для здоровья и жизни людей. В менее ответственных случаях проводят выборочный рентгеноконтроль.

Рентгенодефектоскопию можно использовать при отработке ЛПС, для выбора оптимальных размеров прибылей. Например, при литье сопловых лопаток тяговой турбины автомобильного газотурбинного двигателя вначале применили цилиндрический стоек (рис. 9.10, а). В изломе отлитых лопаток была обнаружена усадочная рыхлота. С помощью рентгенодефектоскопии выявили, что в случае, когда лопатки расположены широкой частью пера вниз, условия кристаллизации отливок и питания их расплавом неудовлетворительны.

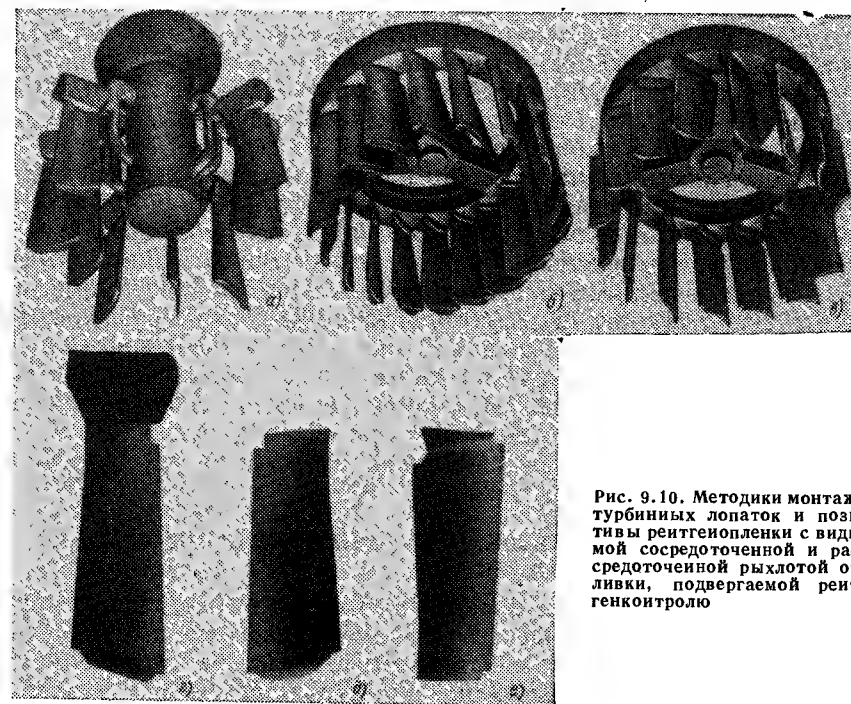


Рис. 9.10. Методики монтажа турбинных лопаток и позитивы рентгенопленки с видимой сосредоточенной и рассредоточенной рыхлотой отливки, подвергаемой рентгенконтролю

В пере образуется крупная сосредоточенная усадочная рыхлота, отчетливо видимая на позитиве рентгеновской пленки (рис. 9.10, а). Применение литниковой системы с кольцевым коллектором (рис. 9.10, б) при той же ориентации лопаток — широкой частью пера вниз — изменило характер дефекта. Питание лопаток улучшилось, но из-за несоблюдения принципа направленного затвердевания усадочные дефекты в лопатках остались в виде рассредоточенных рыхлот (рис. 9.10, в). Только при расположении лопаток широкой частью пера к коллектору (рис. 9.10, г), когда было обеспечено направленное затвердевание отливок, они были получены годными, без усадочных рыхлот (рис. 9.10, е).

Контроль ультразвуком основан на регистрации донного эффекта импульса ультразвукового генератора. Ультразвуковые волны с частотой 20—10 МГц распространяются в однородном металле отливки прямолинейно и отражаются от поверхностей различных дефектов (трещин, раковин). С помощью осциллографа определяют место расположения дефекта. Этим методом проверяют в основном простые по конфигурации отливки. Ультразвуковой контроль является одним из наиболее простых методов выявления внутренних дефектов без разрушения отливок и по мере его совершенствования найдет более широкое применение.

Контроль герметичности отливок. Простейшее испытание — проба керосином, который наливают в отливку. Керосин подвижная жидкость, хорошо проникает в рыхлоты, трещины, раковины отливки. При сквозных дефектах, через несколько часов на поверхности отливки появляется темное пятно просочившегося керосина. Не все отливки можно испытывать этим способом, для отливок с большим числом отверстий и окон он не пригоден.

Герметичность отливки можно проверить также под давлением. Для этого все отверстия в отливке закрывают пробками или заглушками с резиновыми прокладками. В одной из заглушек предусматривают штуцер, соединяемый с шлангом для подачи в отливку воды или воздуха под заданным давлением с помощью насоса или компрессора. Для лучшего выявления дефектов отливку следует погрузить в воду или покрыть снаружи мыльной водой, тогда в месте дефекта при утечке воздуха образуются мыльные пузыри. Проверка сжатым воздухом более опасна, чем водой, и ее следует вести с соблюдением всех мер безопасности, преимущественно при низком давлении. При проверке герметичности водой избыточное давление может достичь нескольких десятков мегапаскаль.

9.3. БРАК ОТЛИВОК, ЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Основными причинами брака являются нетехнологичность конструкции деталей, несовершенство технологического процесса, нарушения технологии и недоброкачество технологических материалов.

Брак из-за нетехнологичной конструкции детали возникает в тех случаях, когда конструктор не учитывает возможности литейной технологии. Например, если в погоне за уменьшением числа деталей в узле он конструирует неоправданно сложную отливку с резко изменяющимися толщинами стенок или в стремлении снизить массу детали указывает в чертеже, пренебрегая возможностями технологии, слишком тонкие стенки. Эти замечания не следует понимать так, что конструктор вправе ставить перед литейщиками лишь простые задачи. Современный уровень развития процесса литья по выплавляемым моделям допускает отливку весьма сложных деталей. Однако всестороннее обсуждение и согласование чертежа литой детали конструктором и технологом-литейщиком, создание технологичной конструкции намного облегчают процесс производства и способствуют снижению потерь, в том числе и от брака.

Контакт в работе конструктора и литейщика не ограничивается согласованием чертежей, в ряде случаев возникает необходимость изготовления опытных отливок, что позволяет создать наиболее рациональную, технологичную конструкцию литой детали.

Брак из-за несовершенства технологического процесса встречается наиболее часто. Перед запуском каждой новой отливки в производство технология ее изготовления должна быть выбрана на основе научных принципов, а затем опробована на опытных отливках. Пробные отливки необходимо всесторонне исследовать по геометрическим размерам, наличию внутренних дефектов, соответствию механиче-

ских и служебных свойств. После доработки технологического процесса должна быть полная уверенность в том, что он надежно обеспечивает получение годных отливок и что каждый случай брака является следствием нарушения технологии. Причины этих нарушений должны полностью выявляться и устраняться.

Технологический процесс следует постоянно совершенствовать, опираясь на достижения науки, стремясь облегчить труд рабочих, максимально используя механизацию и автоматизацию производства.

Брак, вызванный нарушением технологии, может появиться на любой операции, например в результате небрежной подготовки материалов, нарушения режимов сушки слоев суспензии на модельных блоках, низкой или излишне высокой температуры заливаемого расплава. Брак неизбежно увеличивается при неудовлетворительном состоянии оборудования и оснастки, а также вследствие небрежной работы. Следить за тем, чтобы технология не нарушалась, обязаны в первую очередь производственный мастер и технолог. Вынужденное отступление от технологии возможно только по серьезным причинам, например, при аварии оборудования. Каждое такое отступление от технологии должно быть зафиксировано и, соответственно, документально оформлено.

Дефектные отливки подразделяют на три вида:

окончательный брак — отливки, исправление которых невозможно или экономически нецелесообразно;

условный брак — отливки, дефекты которых таковы, что допускается работа детали в изделии; такие отливки исправлению не подлежат, а их пропускают в производство с картой отклонений, по согласованию с конструктором;

исправимый брак — отливки, дефекты которых могут быть исправлены (например, заваркой или дополнительной механической обработкой), после чего они становятся годными.

Брак отливок разделяют на внутренний, выявляемый в литейном цехе, и внешний — брак литейного цеха, обнаруженный в механическом или других цехах завода. Наибольшие убытки приносит внешний брак, так как к стоимости отливок добавляется стоимость их последующей обработки, при которой выявляется литейный дефект. Внешний брак литейный цех обязан заменить годными отливками.

Каждая забракованная контролером отливка должна быть классифицирована по виду брака. Результаты разбраковки отливок следует фиксировать в журнале, где указывают общее число изготовленных отливок, число годных и забракованных, с классификацией последних по видам брака.

Для принятия эффективных мер по предупреждению брака, его следует правильно классифицировать. Ниже приведена классификация дефектов и указаны меры предупреждения их образования в отливках.

9.4. ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК

Исправление дефектов отливок целесообразно, если затраты на эту работу меньше стоимости изготовления отливки вновь.

Для исправления коробления отливок применяют рихтовку. Коробление — часто встречающийся дефект, особенно в случае изготовления тонких и сложных отливок неуравновешенной конструкции. Рихтовку можно использовать для сплавов, обладающих достаточной пластичностью ($\delta^{20^\circ} > 2\%$). Отливки из некоторых жаропрочных и инструментальных сталей с низкой пластичностью рихтовать не следует. В каждом отдельном случае применяют различные приемы рихтовки, устанавливая сначала величину деформации с помощью контрольного прибора или измерительного инструмента.

В условиях массового производства, при систематическом короблении отливок, правку производят в специальных правочных штампах на прессах. В мелкосерийном производстве коробление отливок обычно устраняют вручную, используя универсальный слесарный инструмент.

После рихтовки отливок следует проводить термообработку для снятия появившихся напряжений. Обычно применяют нормализацию отливок.

Наружные раковины в отливках могут быть исправлены заваркой. Трещины, спай, рыхлоты исправляют заваркой не рекомендуется. Обычно применяют дуговую электросварку, используя литые электроды или проволоку из того же сплава, из которого выполнена отливка. Дефектное место отливки слесарным способом очищают на всю глубину залегания дефекта, а затем заваривают и место сварки зачищают вровень с поверхностью отливки. Отливки из жаропрочных сплавов перед заваркой нагревают до $600-650^\circ\text{C}$. Нагревать отливки выше 800°C не следует из-за опасности образования в месте сварки окалины. После заварки и зачистки отливки нормализуют для снятия напряжений.

Отливки 1-й и 2-й групп контроля в местах заварки следует проверять рентгеном.

Если все отливки данной партии не обладают необходимой точностью и нуждаются в слесарной доводке, то следует проверить и при необходимости откорректировать технологический процесс их изготовления. Прежде всего необходимо проверить точность размеров пресс-форм и получаемых в них моделей.

При отклонении размеров отдельных отливок от требуемых по чертежу, в ряде случаев можно исправить ее слесарной обработкой.

Рассмотрим пример слесарной доводки спрямляющих лопаток компрессорной турбины из стали 09Х17Н3СЛ (см. рис. 9.2). Размер D между двумя полками имеет отклонения больше, чем другие размеры вследствие затрудненной усадки отливки. Если этот размер больше указанного в чертеже, то исправить отливку невозможно, но если он на несколько десятых миллиметра получился меньше чертежного, то, сняв по обеим полкам металл ($0,1-0,2$), не утоняя их меньше допустимого, можно исправить размер D , ввести его в нижний предел поля допусков.

Сильно колеблется у рассматриваемых лопаток и максимальная толщина профиля пера T . Эти колебания вызваны расширением и

сжатием формы при прокаливании и охлаждении. Если размер T в самом тонком месте не вышел за пределы минимально допустимого, то его можно выровнять по всей лопатке, избегая утонения. Излишний металл следует плавно снять по кривой поверхности утолщенного профиля, например, на заточном станке.

Из рассмотренного примера следует, что слесарная доводка отливок позволяет сократить брак по геометрическим размерам.

9.5. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ

Контроль осуществляют цеховые и заводские отделы технического контроля (ОТК).

Материалы, поступающие на завод, проверяет ОТК склада. Здесь сверяют поступившие с материалами сертификаты. При их соответствии действующим техническим условиям материалы выдают в цех. Если по некоторым показателям материалы не укладываются в технические условия или по ним нет данных в сертификате, то образцы материалов направляют для анализа в лабораторию и после положительного заключения допускают к применению в производстве. Иногда необходимо технологическое опробование материала. Тогда решение о его годности принимают после получения пробных партий отливок. Немарочный и непроверенный материал пропускать в производство на следует во избежание увеличения брака отливок.

Оснастку проверяют периодически в мерительной лаборатории или цеховых контрольно-проверочных пунктах. Пресс-формы следует проверять периодически обмером и разметкой партий отливок. Пресс-формы и контрольные приборы должны иметь паспорта, в которые заносят номинальные размеры, отклонения, регистрируют проведенные ремонты и указывают срок следующей проверки.

Операционный и окончательный контроль целесообразно проводить на модельном участке (проверяют модельный состав, модели, блоки моделей), на участке формовки (контролируют связующий раствор, суспензию, соблюдение режимов сушки после каждого нанесенного слоя, состояние оболочки после выплавки моделей), на плавно-заливочном участке (проверяют режим прокаливания форм, качество и количество шихты, состояние форм перед заливкой, температуру металла перед заливкой, производят экспресс-анализ его химического состава).

Операции выбивки отливок, очистки и обрубки их совмещают со 100 %-ной визуальной проверкой залитых блоков и отделенных от ЛПС отливок. С этих операций ОТК направляет в лабораторию образцы для химического анализа сплава. При использовании специальных неразрушающих методов контроля (люминесцентного, магнитного, рентгеновского и др.) отливки направляют на проверку в соответствующие лаборатории. Образцы для проверки механических свойств обычно передают на термообработку вместе с отливками, после проведения которой их направляют для испытаний в лабораторию. При окончательном контроле отливок проверяют их размерную точность, данные лабораторий о химическом составе

металла и механических свойствах, о результатах контроля отливок специальными методами. Забракованные отливки помещают в изолятор брака для последующего использования в шихту.

При технологическом контроле на всех операциях проверяют соблюдение утвержденной технологии.

Четкой организации контроля способствует правильно составленная документация — карта контроля или операционные технологические карты, куда занесены контрольные операции а также сопроводительные документы по партиям — маршрутные листы.

На разных предприятиях партии отливок определяют различно. Чаще всего партией считают все одноименные отливки одной плавки. При малом объеме производства или при плавке в печах малой емкости партией считают сменную выплавку.

В целях упорядочения учета изготовленных отливок для обеспечения возможности быстрого установления состава и свойств металла, времени изготовления и других характеристик широко используется клеймение их. Место клеймения отливок определяют по чертежу детали. Кроме номера чертежа детали в литейном цехе часто на отливки ставят номер плавки. При литье по выплавляемым моделям каждую смену проводят много плавов в печах малой вместимости. Поэтому на отливках неотвественного назначения можно указывать номера партий, считая партией суточную выплавку. Для отливок ответственного назначения в клеймо следует вводить порядковый индивидуальный номер плавки.

Отливки можно клеймить ударным клеймом, но можно также нумеровать модели с помощью острой чертилки. Этот номер переходит на отливку, сохраняясь на протяжении всего технологического процесса. Клеймение требует незначительных затрат, но обеспечивает порядок в работе, так как по маршрутному листу можно установить, кто и когда изготовлял данную отливку.

Отливки обрабатывают партиями и сопровождают маршрутным листом, в котором указывают номер партии, дату заливки, число отливок. В маршрутном листе перечисляют все производственные операции и делают отметки о числе годных отливок, принятых на данной операции. К концу технологического процесса на окончательный контроль отливки поступают с отмеченным числом брака по каждой промежуточной операции.

После окончательного контроля и сдачи годных отливок в маршрутном листе подсчитывают общее число забракованных отливок и число их по отдельным видам брака, определяют процент брака в данной партии.

Убытки от брака выражают в рублях и определяют числом забракованных отливок, стоимостью безвозвратных потерь металла (угар) и других материалов, трудоемкостью отливки, учитывая также цеховые накладные расходы. Снижение брака, своевременное изъятие забракованных отливок из производства сокращает убытки от брака и существенно повышает технико-экономические показатели работы цеха. Классификация дефектов отливок по выплавляемым моделям приведена в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Классификация дефектов отливок, изготовляемых по выплавляемым моделям *

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
<i>1. Поверхностные и внутренние дефекты отливок</i>	
<i>1.1. Шероховатость поверхности. Величина неровностей необрабатываемых поверхностей превышает установленные нормы</i>	
1.1.1. Недостаточная чистота поверхности пресс-формы	Рабочую поверхность пресс-формы обрабатывать и полировать. Прочищать, протирать и обдуть сжатым воздухом полости пресс-форм для удаления остатков модельного состава, воды, излишнего смазочного материала
1.1.2. Неудовлетворительные технологические свойства или качество приготовления модельного состава. Несоблюдение оптимальных режимов изготовления моделей	Не допускать применения модельных составов, которые могут прилипать к пресс-форме и химически взаимодействовать с ее материалом. Фильтровать расплавы модельных составов для отделения нерастворившихся посторонних примесей, частиц песка. Приготавливать однородные модельные составы, не допуская комков в пасте. Соблюдать постоянство оптимальных режимов изготовления моделей — температуры модельного состава и пресс-форм, времени и давления при запрессовке состава
1.1.3. Неудовлетворительное смазывание пресс-форм	Систематически смазывать пресс-формы. Не допускать нанесения излишне густого и обильного смазочного материала
1.1.4. Плохое смачивание поверхности модели суспензией	Обезжировать модели. Вводить в суспензию облицовочного слоя добавки-смачиватели (ПАВ)
1.1.5. Излишняя вязкость модельного состава, ведущая к выкрашиванию непрочного первого слоя оболочки при выплавлении моделей	Упрочнять первый слой оболочки. Применять модельные составы с малой вязкостью
1.1.6. Высокий местный нагрев в отдельных частях оболочки при прокаливании вследствие выгорания невыплавленного или впитавшегося в оболочку формы модельного состава, приводящего к растрескиванию и частичному выкрашиванию оболочки формы	Применять наиболее совершенные методы выплавления моделей, например в автоклавах перегретым паром, с помощью ИВЧ-нагрева. Конструировать модельные блоки с учетом более полного удаления модельного состава при выплавлении и растворении
1.1.7. Недостаточная поверхностная прочность оболочки	Применять связующие растворы, обеспечивающие технологически необходимую прочность оболочек
1.1.8. «Пробой» первого облицовочного слоя суспензии песком при обсыпке блоков	Не применять крупнозернистый песок для обсыпки первого слоя суспензии. Консистенцию и состав суспензии для первого слоя подбирать так, чтобы он был равномерным и достаточным по толщине на всех поверхностях моделей в блоке

* Классификация составлена В. А. Озеровым и Б. С. Курчмаином.

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.1.9. Образование в полости формы налета кремнезема («пушка») вследствие неполного гидролиза ЭТС в связующем облицовочного слоя, растворения связующим некоторых компонентов модельного состава 1.2. Заливы. Металл проникает в трещины оболочки, образуя на поверхности отливки гребешки, либо между слоями оболочки, образуя ужимы (наплывы) 1.2.1. Образование трещин в одном или нескольких слоях оболочки формы вследствие недостаточной ее термостойкости, нарушения режимов изготовления формы, некачественных модельных и формовочных материалов 1.2.2. Образование на поверхности моделей и между слоями оболочки воздушных пузырьков из-за плохого смачивания поверхности моделей суспензией и плохой подготовки суспензии	Рассчитывать компоненты гидролизованного раствора, строго соблюдать рецептуру и режимы приготовления связующего и суспензии Ускорить процесс сушки облицовочного слоя интенсивной вентиляцией камеры, применением вакуума и аммиачного отверждения для связующих 1-го типа на органических растворителях Заменить в модельном составе компоненты, взаимодействующие с гидролизированным раствором ЭТС (например, стеарин) Допускать в производство материалы полностью соответствующие по составу и свойствам, утвержденным ТУ То же, что в п. 1.1.7 Поддерживать постоянную консистенцию суспензии, регулируя перемешивание и компенсируя испарение летучих составляющих. Следить за равномерностью толщины слоев оболочки. Опасно стекание суспензии с выпуклых частей, наружных углов и острых кромок моделей, а также образование наплывов в углублениях и пазах Своевременно, до подсыхания суспензии, равномерно обсыпать блок песком. Выдерживать оптимальные режимы сушки оболочки (продолжительность, температуру, влажность воздуха, скорость его циркуляции) Суспензию для облицовочных слоев формы после перемешивания выдерживать для удаления пузырьков воздуха. Для интенсификации этого процесса производить выдержку под вакуумом и при вибрации Строго соблюдать установленные соотношения твердых и жидких компонентов суспензии, тщательно перемешивать их, обеспечивая соблюдение установленной для данного слоя условной вязкости, контролируемой по ГОСТ 8420—74 (СТ СЭВ 1443—78). Избегать выполнения литых резб, глубоких отверстий малого диаметра, узких пазов.

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.2.3. Растрескивание оболочки под давлением модельного состава в блоке вследствие его нагрева или охлаждения при изменениях температуры окружающей среды (при сушке слоев оболочки и при удалении из нее моделей) 1.2.4. Образование трещин в оболочке под давлением опорного наполнителя	При необходимости получения в отливках узких протяженных полостей (например, в охлаждаемых лопатках турбин) применять специальные керамические стержни. Если при формировании слоев оболочки в отверстия модели расстояние между ними становится недостаточным для нормального нанесения обсыпки и сушки следующего слоя, образовавшуюся щель следует заделать смесью, например, следующего состава: 68 % молотого плавленого кварца, 2 % окиси магния, 30 % связующего раствора ЭТС Выполнять галтели во внутренних углах отливок Поддерживать постоянную температуру в помещении сушки и хранения модельных блоков, во время и после операции формирования оболочки Применять модельные составы с малым коэффициентом объемных изменений. Использовать полые модели. Применять способы выплавки моделей, обеспечивающие быстрое расплавление их поверхностного слоя, до начала расширения основных массивных частей (автоклавный метод, СВЧ-нагрев, нагрев в жидком теплоносителе с температурой, на 30—40 °С и более превышающей температуру плавления модельного состава. Для крупных сложных моделей и при использовании вязких модельных составов (типа КПСЦ 50-30-20) применять прочные опорные формовочные наполнители, например, на цементе. Равномерно уплотнять опорные наполнители при формовке оболочек Для крупных отливок увеличивать число слоев оболочки формы. Применять крупнозернистый песок для обсыпки последних слоев оболочки и добавку цемента в песок. Формировать при изготовлении оболочек высокопористые промежуточные слои, снижающие напряженное состояние оболочки. Применять для опорного наполнителя материалы с малым коэффициентом теплового расширения и малой объемной массой (например крупнозернистый шамот). Избегать горизонтального расположения в опоке отливок с большими плоскими поверхностями

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.2.5. Образование трещин в оболочке формы вследствие объемных изменений в ней при прокаливании и охлаждении перед заливкой	Соблюдать режимы прокаливания. Применять для изготовления оболочек огнеупорные материалы с малым коэффициентом термического расширения (электрокорунд, плавленый кварц, циркон и др.), что позволяет прокаливать и заливать оболочки форм без опорного наполнителя. Избегать применения комбинированных форм из материалов с различными свойствами, например, использования в качестве связующих для первых слоев оболочки гидролизованного ЭТС, а для последующих — жидкого стекла. Различие свойств этих материалов при прокаливании приводит к трещинам, короблению и расслаиванию оболочек. При заформовывании оболочек в опорный наполнитель выдерживать зазор 25—30 мм между оболочкой и стенками опоки, а также ее дном, во избежание быстрого охлаждения наружного слоя опорной части формы. Избегать охлаждения прокаленных кварцевых форм — перед заливкой до температур кристаллического превращения модификаций кварца (β -кварц $\rightleftharpoons$ 575° $\rightleftharpoons$ α -кварц) Заливать формы с минимальной высоты. Применять литниковую систему, обеспечивающую спокойный подвод металла в полость формы. Конструировать литниковую систему и модельный блок так, чтобы при заливке и охлаждении металла не было сильного нагрева отдельных частей формы. Не располагать очень близко одну к другой отливки в блоке. Предохранять оболочки и формы от механических повреждений на всех технологических операциях
1.2.6. Образование трещины в облицовочном слое формы, его коробление и расслаивание (вспучивание) в результате теплового и механического воздействия на форму	
1.2.7. Механические повреждения оболочек форм на всех операциях процесса	
1.3. Пригар. Слой формовочных материалов и продуктов их взаимодействия с залитым металлом, прочно соединенных с отливкой	Использовать формовочные материалы, химически инертные к применяемому литейному сплаву. Например, высокомарганцовистые стали не следует заливать в формы с облицовочным слоем на основе кварца. Последний, взаимодействуя с окислами марганца, образует химический пригар ($MnSiO_3$) При заливке высокомарганцовистых сталей надо применять для изготовления оболочек-форм электрокорунд, плавленый магнетит, а в качестве связующего гидролизованные растворы ЭТС 1-го типа

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.3.2. Несоответствие огнеупорной основы оболочки формы техническим условиям 1.3.3. Перегрев металла при заливке форм 1.3.4. Сильный разогрев отдельных участков полости формы металлом, через которые проходит большая масса металла. Близкое расстояние между отливками в блоке	При использовании пылевидного кварца следует по возможности снижать температуру заливки. При низкой температуре взаимодействие кремнезема формы с окислами марганца значительно меньше Не допускать в производство материал, загрязненный примесями, снижающими химическую и термическую стойкость формы Соблюдать оптимальную температуру заливки сплава с учетом конфигурации отливки Рассредоточивать подвод металла к отливкам. Уменьшать массивные узлы. Увеличивать расстояния между отливками в блоке
1.4. Недолив. Незаполнение металлом отдельных частей отливки	
1.4.1. Пониженная жидкотекучесть металла в результате низкой температуры его при заливке или газонасыщенности	Соблюдать оптимальную температуру заливки металла. Ковши перед заливкой просушивать и подогревать до 700—800 °С. Дегазировать и тщательно раскислять сплав. Предохранять сплав от окисления Повышать газопроницаемость формы. Применять выпоры в литниковой системе
1.4.2. Образование воздушных мешков в форме при заливке вследствие низкой газопроницаемости оболочки формы 1.4.3. Прерывистость струи металла при заливке. Заливка тонкой неровной струей 1.4.4. Недостаточное количество металла в ковше	Заливать формы полиой непрерывной струей Не заливать форму, если нет уверенности в достаточном количестве металла. Обеспечить полное заполнение стояка и литниковой воронки Равномерно уплотнять формовочный опорный наполнитель. Не допускать к заливке оболочки формы, имеющие трещины
1.4.5. Прорыв металла и уход его из формы	
1.5. Спай. Неполное соединение потоков металла, имеющее вид шва с заваленными краями. Спай могут быть сквозными	
1.5.1. Причины те же, что указаны в п. 1.4.1—1.4.3 1.5.2. Дефекты литниковой системы (недостаточные сечения питателей или других элементов, неправильный выбор места подвода металла к отливке)	То же, что в п. 1.4.1—1.4.3 Исключить заполнение отливки встречными потоками металла. Изменить расположение, число и размеры элементов ЛПС. Сократить время заполнения формы. Улучшить конструкцию блока для создания необходимого статического давления металла Заливку сложных отливок с тонкими стенками проводить в горячие формы при 850—950 °С и выше
1.5.3. Низкая температура литейной формы	

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.5.4. Заплеск при заливке	При заливке в одной опоке нескольких оболочек увеличивать расстояние между ними. Закрывать асбестом отверстия для выпоров и открытых прибылей вблизи от литниковой воронки
1.6. Усадочные раковины и пористость. Открытые или закрытые полости в теле отливки усадочного происхождения с шероховатой поверхностью. Могут быть одиночными или групповыми, а также в виде скопления мелких пор (усадочная пористость или рыхлота)	
1.6.1. Нетехнологичная конструкция отливки. Имеются труднопропитываемые расплавом при кристаллизации массивные узлы, сочетающиеся с тонкими стенками и ребрами, резкие переходы от массивных частей к тонким. В местах сопряжения отдельных частей отливки выполнены острые углы	Улучшить конструкцию отливки в соответствии с указаниями, приведенными в гл. 1. Применять выпоры, холодильники и специальные обогреватели. Изменить литниковую систему для обеспечения направленной кристаллизации отливки
1.6.2. Неправильные конструкции или размеры литниковой системы	Использовать в качестве прибылей стояк и коллекторы. Для крупных отливок применять специальные прибыли, подводя в них металл для питания массивных частей отливки. Изменить длину, форму и число питателей, размеры их сечения для обеспечения питания отливки при кристаллизации. Рассчитывать размеры элементов литниковой системы так, чтобы обеспечивалось питание всех присоединенных к ним отливок
1.6.3. Ошибки, связанные с расположением отливок в блоке	Располагать отливки, исключая взаимный обогрев труднопропитываемых узлов двух соседних отливок. Учитывать быстрое охлаждение наружных частей прокаленной формы при создании условий направленной кристаллизации
1.6.4. Повышенная температура металла при заливке в формы	Поддерживать оптимальную температуру заливки для применяемого сплава с учетом конфигурации отливки
1.6.5. Недолив прибыли или литниковой воронки и стояка, выполняющих функции прибыли	Литниковая воронка, стояк и прибыли должны быть заполнены металлом
1.6.6. Повышенная насыщенность металла газами и окислами. Выделяющиеся при кристаллизации из металла газы проникают в места образования усадочных дефектов	Не допускать газонасыщенности сплава в процессе плавки и разливки. Тщательно раскислять сплав перед заливкой, так как образование окислов снижает жидкотекучесть и способствует увеличению усадочных дефектов (газоусадочной пористости)

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.7. Утяжины. Пологие впадины усадочного происхождения на массивных частях отливки	То же, что в п. 1.6.1—1.6.6. Утяжины находятся обычно в тех частях отливки, где металл охлаждается медленно, и затвердевает в условиях недостаточного питания, вследствие чего тонкая поверхностная корочка затвердевшего металла продавливаются в сторону образующейся подкорковой усадочной раковины
1.8. Засор. Открытые или закрытые полости в теле отливки, заполненные материалом оболочки формы, опорного наполнителя или футеровки	Предупреждать образование трещин в оболочке формы. То же, что в п. 1.2.1—1.2.7 Тщательно наносить суспензию на модель литниковой воронки, предусматривать упрочняющий буртик: подрезать (выравнивать) торец литниковой воронки перед выплавлением. Применять специальные соросборники на конце стояка Ставить обложку в опоку так, чтобы край воронки возвышался над наполнительным песком на 10—15 мм. Закрывать литниковую воронку перед формовкой металлическим колпачком. Перед прокаливанием формы смачивать поверхность песка вокруг воронки раствором жидкого стекла. При формовке с торцовыми пробками из влажного наполнителя выполнять кольцевую канавку вокруг литниковой воронки. Отсасывать инжектором сор из полости формы перед заливкой. При изготовлении отливок ответственного назначения отверстие литниковой воронки заклеивать бумагой сразу после выплавления моделей Тщательно соединять и спаивать модели с элементами литниковой системы; выполнять галтели в местах соединений. При звеньевой сборке блоков на стояк-каркас выполнять на торцах литниковой втулки замки или тонкие кромки, сминающиеся при соединении звеньев (см. гл. 5) Очищать модельный состав, отстаивать и фильтровать Поддерживать в порядке футеровку печи и ковшей, своевременно ремонтируя или заменяя ее
1.7.1. Недостаточное питание массивного узла отливки, приводящее к образованию усадочной раковины внутри узла, утяжке или продавливанию в полость раковины недостаточно прочной затвердевающей поверхностной корочки металла	
1.8.1. Попадание формовочных материалов в полость формы через трещины в оболочке	
1.8.2. Поломка или выкрашивание перед заливкой и при заливке части оболочки формы выполняющей литниковую воронку	
1.8.3. Попадание в полость оболочки формовочного песка при формовке в опорный наполнитель, прокаливании, заливке и транспортировании форм	
1.8.4. Смывание струей металла керамических заусенцев в оболочке формы, образовавшихся в результате попадания суспензии в засор между моделями стояка и питателя при небрежной пайке, либо между звеньями моделей при неплотном их соединении	
1.8.5. Загрязненность модельного состава	
1.8.6. Осыпание футеровочного материала печи и ковша	

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.9. Раковины шлаковые. Открытые или закрытые полости в теле отливки, заполненные шлаком	
1.9.1. Попадание шлака с расплавом в форму при заливке	Наводимый в процессе плавки шлак должен быть достаточно вязким и хорошо отделяться от расплава. Шлак следует сгущать перед заливкой, например, добавкой металлургического магнезита для удобства его съема с зеркала расплава. Скатывать шлак с зеркала расплава перед заливкой. Придерживать шлак графитовой отсечкой при сливе расплава из печи в ковш и в форму. Очищать от скрапа тигель плавильной печи и ковши. Следить за исправностью их футеровки. Применять ковши чайничкового типа. Выдерживать расплав в ковше для всплытия шлака. Материал футеровки печи и ковшей выбирать с учетом свойств выплавляемого сплава во избежание химического взаимодействия между ними. Предупреждать образование в литейной форме вторичных шлаков. При изготовлении отливок из сплавов с повышенной химической активностью применять ЛПС, обеспечивающую спокойное заполнение форм; использовать инертные по отношению к сплаву формовочные материалы. В ЛПС предусматривать устройство шлакоуловителей. Заливать формы спокойно с небольшой высоты, ровной непрерывной струей. Сплавы, наиболее склонные к окислению и образованию вторичных шлаков, заливать непосредственно из плавильной печи. Использовать при необходимости фильтровальные сетки, например из стекловолокна. Заливать алюминиевые сплавы через трубку, как показано в гл. 3. При изготовлении отливок ответственного назначения из легко окисляющихся сплавов производить заливку в среде инертных газов или в вакууме
1.10. Раковины газовые. Открытые или закрытые полости в теле отливки обычно с чистой и гладкой поверхностью, иногда окисленной. Раковины могут быть одиночными, групповыми и в виде сыпи	
1.10.1. Повышенная газотворность литейной формы. Неполное удаление из оболочки формы остатков модельного состава. Наличие газотворных примесей в формовочных материалах	Соблюдать режимы прокаливания, обеспечивающие полное удаление из формы газотворных составляющих. Применять наиболее эффективные методы удаления моделей из оболочки формы: в паровых автоклавах, СВЧ-нагревом, выплавлением или растворением (для солевых моделей) в горячей воде. Не допускать в производство формовочные материалы, содержащие газотворные примеси (пылевидный кварц, засоренный мелом и др.)

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.10.2. Недостаточная газопроницаемость литейной формы	Промывать и прокалывать формовочные огнеупорные материалы (пылевидный кварц, песок), засоренные органическими примесями Для обсыпки необлицовочных слоев оболочки применять крупнозернистые материалы (пески, шамотную крошку и др.) с размером зерен 0,3—2,5 мм Выполнять в средней части оболочки высокопористые слои, используя в обсыпочном материале выгорающие, разлагающиеся, а также пористые материалы (опилки, мраморную крошку, вспененный шамот, аглопорит и др.) При введении в сухой наполнитель борной кислоты или буры в качестве упрочнителя поддерживать их содержание на нижнем пределе (1,5 %) При подготовке шихтовых материалов тщательно их очищать, например в дробеструйных камерах. Подогревать шихту и присадки при температуре не ниже 120 °С. Строго соблюдать принятые режимы плавки, не перегревать металл. Тщательно раскислять металл по ходу плавки и перед заливкой форм. Рафинировать сплавы, склонные к газонасыщению. Применять плавку в вакууме и в среде инертных газов. Тщательно высушивать и прокалывать футеровку плавильной печи и разливочных ковшей При конструировании и расчете элементов ЛПС руководствоваться указаниями, приведенными в гл. 3
1.10.3. Повышенная газонасыщенность литейного сплава в результате применения окисленной шихты и влажных присадок, а также излишнего перегрева расплава при плавке, недостаточной раскисленности его, склонности к значительному газопоглощению (сплавы на основе Al, Mg), плохой проковки футеровок плавильной печи и разливочного ковша	Не допускать разрыва струи расплава при заливке и попадания вместе с ним воздуха в форму
1.10.4. Неправильно сконструированная ЛПС способствующая инжектированию воздуха в струю металла при заливке	
1.10.5. Заливка прерывистой струей	
1.11. Окисные пленки. Наличие окисных плен металла на поверхности или внутри отливки	
1.11.1. Повышенная склонность к окислению при расплавлении отдельных элементов, входящих в состав сплава (Al, Ti)	Никельхромовые, никелькобальтхромовые и железоникельхромовые сплавы с интерметаллидным упрочнением $[Ni_3(Ti, Al)]$ следует выплавлять, переплавлять и заливать в формы в вакуумных индукционных плавильных установках При отсутствии или невозможности использовать вакуумные плавильные установки, частичное предохранение отливок от окисных плен может быть достигнуто применением порционных поворотных печей с заливкой форм поворотом системы печь—форма, плавкой и заливкой под слоем флюсов или в среде инертного газа (аргона)
1.11.2. Образование плен окислов металлов в расплаве, в плавильной печи или в разливочном ковше	

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.12. Корольки. Застывшие капли металла, не сварившиеся с основной металлической массой вследствие охлаждения и окисления поверхности	Применять ковши чайникового типа; тщательно прокаливать разливочные ковши, очищать и исправлять их футеровку
1.12.1. Разбрызгивание металла при заливке в форму, охлаждение и окисление поверхности капель	Конструкция литниковой системы должна исключать возможность разбрызгивания металла при заливке. Заливать металл в формы ровной непрерывной струей с небольшой высоты Модели в блоке располагать так, чтобы возможные брызги металла при заливке не попадали из стояка или коллектора в полость форм
1.13. Трещины горячие. Поверхностные или сквозные надрывы стенок отливки. Разрыв имеет окисленную поверхность	
1.13.1. Нетехнологичность конструкции отливки и блока отливок. Значительная концентрация напряжений в острых углах, сложных замкнутых контурах, резких переходах от массивных узлов к тонким сечениям. Трещины более вероятны, если места концентрации напряжений ослаблены усадочными дефектами (рыхлость, усадочные раковины)	Конструктивное улучшение отливки и ЛПС в соответствии с рекомендациями, приведенными в гл. 1 и 3
1.13.2. Высокая температура расплава при заливке, приводящая к увеличению внутренних напряжений в отливках	Соблюдать оптимальную для данных отливок температуру заливки форм
1.13.3. Недостаточная податливость литейной формы	Сократить число слоев оболочки формы. При излишне высокой прочности оболочки снизить ее до технологически необходимой (обычно не более 6—7 МПа при статическом изгибе), например, путем регулирования состава связующего. Применять оболочки с пористыми прослойками (см. п. 1.10.2)
1.13.4. Повышенное содержание вредных примесей в металле (например, серы в сталях), окислов и газов, снижающих прочность отливок в горячем состоянии	Применять высококачественную, очищенную шихту, правильно рассчитывать шихту, тщательно раскислять металл перед заливкой

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
1.14. Трещины холодные. Поверхностные или сквозные надрывы стенок отливки с чистой или слегка окисленной поверхностью	Применять меры, указанные в п. 1.13
1.14.1. Причины образования холодных трещин могут быть те же, что и горячих. Внутренние напряжения, возникшие в горячих отливках возрастают при охлаждении их до комнатной температуры. Повышению напряжений способствует продолжающаяся усадка отливок при охлаждении, фазовые превращения в металле отливок, происходящие с изменением объема, неравномерное охлаждение	Не допускать преждевременной выбивки. Для некоторых видов отливок увеличивать время остывания залитых форм. Выбивку, отделение литников и очистку для сложных тонкостенных отливок, особенно из хрупких в литом состоянии сплавов, проводить без ударов, после отжига для снятия внутренних напряжений в отливках
1.14.2. Напряжения от внешних воздействий на отливку, например резких ударов при выбивке и обрубке	
1.15. Окалина. Слой окисленного металла на поверхности отливки	
1.15.1. Окисление поверхности отливки при охлаждении в форме или при преждевременной выбивке из формы	При формовке выдерживать зазор не менее 25—30 мм между оболочкой формы, дном и стенками опоки. Песок с верхнего открытого торца опоки можно укрепить добавкой борной кислоты Вводить в формовочный песок карбюризатор (1—3 %), препятствующий образованию окалины. Выдерживать отливки в формах до полного охлаждения Проводить термообработку в восстановительной или нейтральной среде
1.16. Безуглероденный слой стальных и чугунных отливок. Мягкий ферритный слой на поверхности отливок толщиной до 0,5 мм	
1.16.1. Безуглероживание происходит в поверхностном слое горячих отливок в результате окисления углерода и диффузии его к поверхности отливки. Оно происходит либо при охлаждении отливки в форме, либо при термообработке	Вводить карбюризатор в состав наполнителя. После заливки помещать формы в закрытые емкости и создавать там восстановительную среду (например, по методу З. А. Шагеева, забрасывая на поверхность горячих залитых форм куски коксового модельного состава), применять обработку форм после заливки, приводящую к осаждению пироуглерода в порах оболочек форм (по методу разработанному в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола) Термообработку отливок вести в восстановительной или нейтральной среде

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
	Обезуглероженные отливки термообрабатывать в карбюризаторе для насыщения углеродом обезуглероженного слоя металла
1.17. Вмятины, забои, царапины	
1.17.1. Неправильный выбор методов выбивки, очистки, отделения литьевых и отделки отливок	Не допускать ударов по отливкам при выбивке, очистке и отделении литьевых, используя для этой цели специальные пневматические и механические устройства Не допускать очистки тонкостенных, легко повреждаемых отливок в галтовочных барабанах. Применять для очистки обдувку металлическим песком, химические и электромеханические методы, рассмотренные в гл. 9. Использовать легкоразупрочняемые во влажной среде оболочки, например, изготовленные по методу МАТИ [52]. Не транспортировать отливки навалом. Для транспортирования особо ажурных и тонких отливок использовать тару с ячейками
1.17.2. Небрежное транспортирование отливок	
2. Несоответствие отливки по геометрии	
2.1. Отклонения размеров отливок от требуемых	
2.1.1. Изменение технологических баз при обработке отливок в механических цехах	Соблюдение согласованных контрольных и опорных базовых поверхностей отливок при обмере и обработке отливок в литейном и механическом цехах. При весьма малых припусках на отливках изменение согласованных баз может привести к искажениям при обработке: излишнему (одностороннему) съему припуска
2.1.2. Постоянное отклонение размера отливки от чертежного вследствие неправильно выполненного размера пресс-формы	Доводка рабочей полости пресс-формы по неправильно выполненному размеру с учетом усадки модели, расширения формы при прокаливании и усадки металла. При доводке пресс-форм учитывать величину отклонения, установленную при обмерах различных партий отливок
2.1.3. Неточность размеров моделей вследствие применения модельных составов с большой и непостоянной усадкой, несоблюдения оптимальных режимов изготовления моделей, недостатков конструкции пресс-форм	Изменить рецептуру модельного состава. Применять модельные составы высокой термостойкости. Отработать и соблюдать оптимальные режимы изготовления и хранения моделей. Использовать рекомендации по обеспечению точности моделей и выбору модельных составов, приведенные в гл. 5. Изменить конструкцию пресс-формы, обеспечив надежность крепления ее половин и вставок, съем моделей, исключая возможность деформации их и искажения размеров при выеме из пресс-форм

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
2.1.4. Образование трещин в оболочке формы, отслаивание облицовочного слоя от поверхности модели	То же, что в п. 1.1.4—1.1.6 и п. 1.2.1—1.2.6
2.1.5. Деформация литейной формы в результате объемных изменений формовочных материалов при неравномерном нагреве и охлаждении различных частей формы недостаточной прочности облицовочного слоя формы	То же, что в п. 1.2.3—1.2.6. При литье сложных деталей в вакууме формы с опорными наполнителями заменять оболочковыми без опорных наполнителей
2.1.6. Механические повреждения моделей, форм и отливок на различных операциях технологического процесса	Соблюдать меры предосторожности на различных операциях с моделями, формами и отливками
2.2. Коробление. Деформация отливки, вызывающая отклонения ее размеров от чертежных	
2.2.1. Нетехнологичность конструкции отливки, приводящая к значительному короблению моделей и отливок на различных этапах технологического процесса	Изменить конструкцию отливки. Ввести специальные технологические приливы, ребра жесткости, стяжки, препятствующие изменению формы моделей и отливок под действием возникающих термических и усадочных напряжений
2.2.2. Коробление моделей вследствие недостаточной формоустойчивости и большой усадки модельного состава, а также небрежного хранения моделей и собранных модельных блоков	Заменить модельный состав более формоустойчивым, прочным с меньшей и стабильной усадкой (например, вместо состава ПС 50-50 применять ПБЦКо 70—12—13—5). Хранить модели и модельные блоки в шкафах-термостатах, при постоянной оптимальной температуре в положении, исключающем деформацию моделей под действием собственного веса
2.2.3. Коробление отливок в форме или при выбивке	Использовать специальные дрейеры — подставки для моделей. Тонкостенные модели лопаток турбин перед сборкой проверять на коробление специальным инструментом (шаблонами) или по прямой линейным образующим (лекальной линейкой)
2.2.4. Коробление отливок при термообработке	Конструировать блок отливок так, чтобы они охлаждались равномерно, а затрудненная усадка проявлялась в меньшей степени. Равномерно уплотнять наполнитель. Не выбивать отливки преждевременно Нагрев до температуры термообработки вести медленно. Отливки помещать на песчаную подушку. Выполнять в отливках неуравновешенной конструкции, склонных к короблению, стяжки, удаляемые после термообработки отливок Проводить правку покоробившихся отливок, если сплав допускает рихтовку

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
3. Несоответствие свойств металла отливки требуемым	
3.1. Несоответствие химического состава сплава	
3.1.1. Неверные данные о составе шихтовых материалов или их отсутствие	Свежие шихтовые материалы использовать по данным сертификатов. Литейные отходы сплавов хранить помарочно с данными химических анализов текущего производства. Сомнительные шихтовые материалы проверять, производя контрольные химические анализы
3.1.2. Неточность шихтовки	Уточнить расчет шихты по данным предварительного анализа. Корректировать состав шихты с учетом угара элементов
3.1.3. Нарушение режимов плавки (затягивание времени плавки, завышение температуры)	Соблюдать установленные оптимальные режимы плавки
3.2. Несоответствие структуры сплава	
3.2.1. Несоответствие химического состава сплава заданному	То же, что в п. 3.1
3.2.2. Медленное охлаждение отливок в форме	Заливать металл в охлажденную форму. Для изготовления оболочки формы применять материалы повышенной теплопроводности (циркон и др.). Сокращать время выдержки отливок при охлаждении в форме, учитывая другие требования к отливкам (например опасность коробления)
3.2.3. Неправильный выбор режимов термообработки	Режимы термообработки выбирать, исходя из требований к механическим свойствам отливок по данным анализа химического состава, испытаний механических свойств и металлографического исследования
3.2.4. Несоблюдение режимов термообработки	Следить за точным выполнением режимов термообработки отливок
3.3. Несоответствие механических свойств	
3.3.1. Несоответствие сплава по химическому составу	То же, что в п. 3.1
3.3.2. Пониженные механические свойства образцов, вырезанных из отливок, по сравнению со свойствами отдельно отлитых образцов	Различия в значениях свойств объясняются разными условиями при литье и кристаллизации, а также образованием внутренних литейных дефектов в отливках и образцах. Вырезка образцов из отливок сопряжена с большими трудностями. Целесообразно проверять механические свойства на отдельно отлитых образцах сечением, близким к сечению отливок. Образцы отливать по той же технологии, что и отливки

Причины образования дефектов	Меры по предупреждению образования дефектов
3.3.3. Неправильный выбор или неточное соблюдение режима термообработки	Выбор типа образцов и технологии их литья производить с учетом рекомендаций, приведенных на с. 310—311 То же, что в п. 3.2.3
3.3.4. Замедленное охлаждение металла в форме	То же, что в п. 3.2.2
3.3.5. Газонасыщенность сплава	То же, что в п. 1.10.3

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Специализация и кооперирование, характерные для современного машиностроения, серийное изготовление оборудования для литья по выплавляемым моделям создали условия для строительства крупных цехов мощностью 2000, 4000 т в год и более. Важной задачей при создании таких цехов является механизация и автоматизация производства.

Комплексная механизация и автоматизация позволяет повысить производительность труда и обеспечить лучшие условия работы.

10.1. ПРИМЕРЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Комплексная механизированная и комплексная автоматическая линии изготовления моделей. На рис. 10.1 приведен один из вариантов плана расположения типового серийного оборудования [31] со взаимно увязанной производительностью, скомпонованного в две линии: комплексную механизированную (мод. 652 — 654) и комплексную автоматизированную (мод. 652—653). Первая линия предназначена для изготовления моделей серийных отливок, вторая — моделей отливок массового производства [59, 70].

Из ванны выплавления моделей 1 возврат модельного состава вместе с горячей водой стекает по лотку в разделитель 2. Если модели из оболочек выплавляют не в воде, а в модельном составе, то разделитель может быть изъят из системы. В разделителе модельный состав отделяется от воды, которая после очистки сбрасывается в канализацию, а модельный состав скапливается в баке, откуда насосом 3 по трубопроводу 4 перекачивается в плавильный агрегат 5. Сюда же подают и свежие модельные материалы. В плавильном агрегате расплавленный модельный состав отстаивается, дополнительно очищается от воды и посторонних включений. Далее насосом 6 он подается по трубопроводу 7 в емкостные баки 8, откуда направляется в пастоприготовительные агрегаты 9. В них модельный состав приобретает пастообразную консистенцию благодаря охлаждению до температуры частичной кристаллизации и замешиванию воздуха.

Пастообразный модельный состав по трубам 10 подают под давлением к автоматам 11 и карусельным установкам 12 изготовления моделей. Температуру обогревательных устройств во

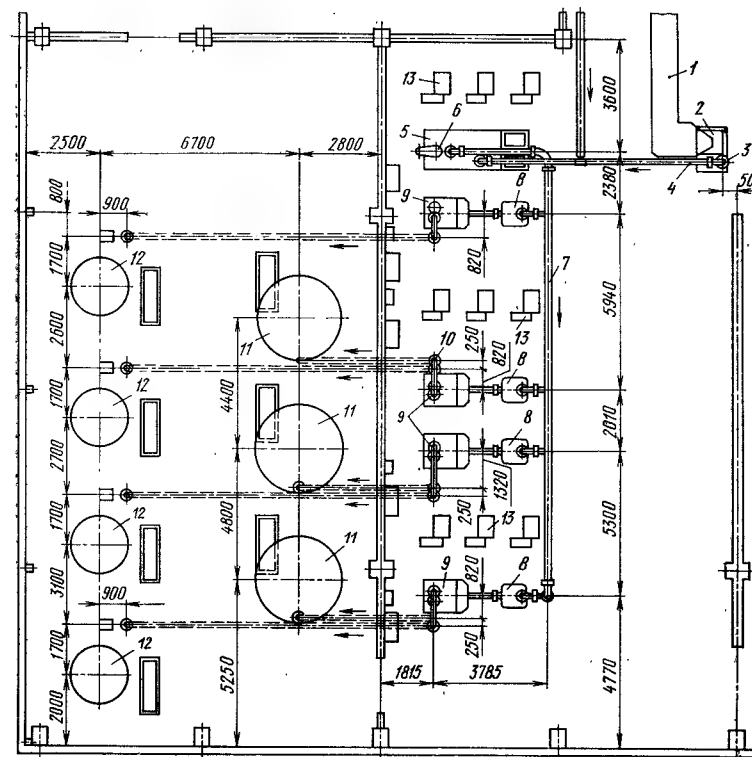


Рис. 10.1. План расположения оборудования для изготовления моделей

всех звеньях линий поддерживают насосно-нагревательные станции 13. На поворотных столах автоматов 11 установлено по десять пресс-форм. Заполнение рабочей полости пресс-форм модельным составом, выдержка для затвердевания модели, раскрытие пресс-форм, выталкивание звена моделей, очистка литникового отверстия и обдув рабочей полости выполняются автоматически по заданному циклу.

На карусельных установках 12 механизированы заполнение полости пресс-форм, раскрытие их и выталкивание моделей. Выем звена моделей, очистку литникового отверстия, обдув и смазывание рабочей полости пресс-формы выполняют вручную.

Рассмотренные линии рекомендованы для изготовления моделей из легкоплавких составов.

Комплексная автоматическая линия приготовления суспензии (рис. 10.2). Применение этой линии позволяет решить задачу автоматизации тяжелых и вредных для здоровья операций приготовления суспензии и подачи ее к местам потребления. Линия разработана на Горьковском автозаводе, в ней использованы автомат при-

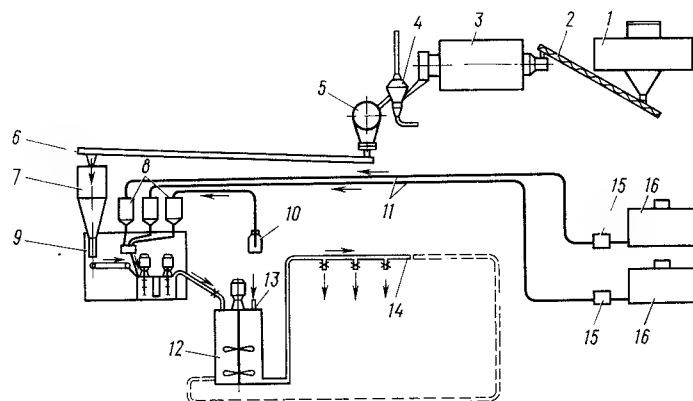


Рис. 10.2. Схема комплексной автоматической линии приготовления суспензии

готовления суспензии (мод. 662), машина для разрезки мешков с пылевидным огнеупорным материалом и печь для его прокаливания конструкции Гипротракторосельхозмаша.

Мешки вспарывает машина 1. Пылевидная составляющая суспензии из бункера машины закрытым конвейером 2 передается для сушки в печь 3, затем поступает в аппарат 4 для охлаждения, а оттуда в полигональное сито 5. Из-под сита материал передается в бункер 7 автомата с помощью системы закрытых конвейеров 6 (или в кубелях). Жидкие составляющие суспензии из цистерн 16 подаются насосами 15 по трубам 11 в напорные баки 8, установленные над автоматом. В напорный бак для подкисленной воды кислота подается из бутылки 10, а вода из водопровода. В автомате 9 исходные составляющие суспензии непрерывно смешиваются, и готовая суспензия стекает в бак 12. К местам потребления она подается под действием сжатого воздуха (патрубок 13) по резиновым шлангам 14.

На рис. 10.3 приведена схема основного механизма линии — автомата приготовления суспензии. Из расходных баков растворителя 1, этилсиликата 4 и подкисленной воды 6, в которых поддерживают с помощью насосов 7 и переливных патрубков 3 постоянный уровень, жидкие составляющие суспензии через клапаны 2 по трубопроводам 5 поступают самотеком к дозирующей панели автомата. Расход жидкостей устанавливают с помощью игольчатых кранов 8 по ротаметрам 9. Заданное количество жидких составляющих суспензии непрерывно поступает в смеситель 12. Одновременно с жидкостными дозаторами включают дозатор пылевидной составляющей суспензии, которая из бункера 16 по лотку 15 попадает на ленту конвейера 14. Гайкой 17 регулируют положение заслонки 18, уменьшая или увеличивая количество пылевидного материала, поступающего непрерывно по лотку 13 в смеситель 12, где все составляющие суспензии интенсивно смешиваются крыльчатками 11.

Рис. 10.3. Схема автомата приготовления суспензии

Выдача готовой суспензии происходит непрерывно через переливной патрубок 10.

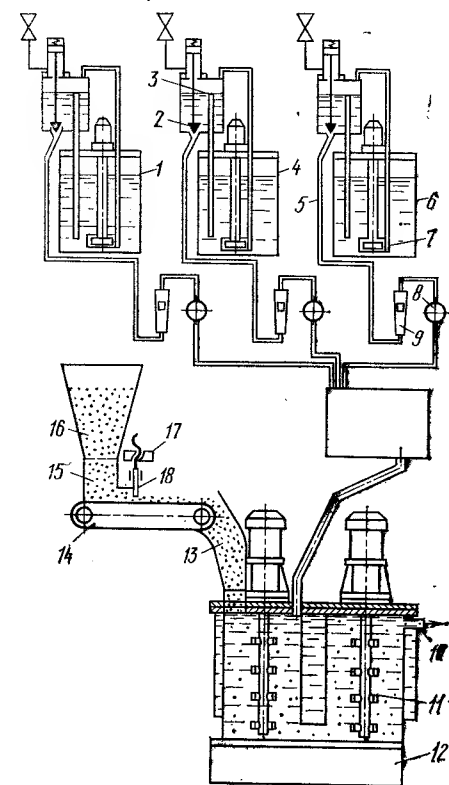
При необходимости получения отдельных порций (120—150 л) может быть установлен циклический режим работы и осуществлена соответствующая настройка дозаторов, в зависимости от того, какой вязкости и состава требуется суспензия. В системе автоматической линии могут работать несколько таких автоматов.

Автоматическая линия изготовления оболочек (рис. 10.4).

На линии выполняются операции по формированию оболочек на блоках моделей и выплавлению последних. Автоматы изготовления оболочки 2 (мод. 6А67), камера сушки 1 (мод. 6А82) и ванна выплавления моделей 3 (мод. 672) объединены в единую линию (мод. 6Б60) конвейером, который помимо транспортных функций благодаря конструкции подвески выполняет и рабочие операции: подъем, опускание и вращение подвесок с блоками.

На участке сборки конвейер имеет спуск к рабочим местам навешивания модельных блоков. Модельные блоки поступают в автомат № 1, где формируется первый слой оболочки, и по конвейеру направляются в камеру сушки. Пройдя первую ветвь конвейера, высохшие блоки поступают для нанесения второго слоя в автомат № 2, затем снова в камеру сушки и так далее до получения пятислойной оболочки. После прохождения каждого из автоматов нанесения оболочки (№ 1—№ 5) автоматически очищается торец литниковой воронки.

Блоки с пятью слоями оболочки транспортируются конвейером в ванну выплавления моделей. Здесь блоки воронкой вверх погружаются в горячую воду или модельный состав. При прохождении через ванну выплавления оболочки удерживаются на стояке благодаря спиральной канавке на металлическом колпачке, формирующем металлоприемник. Подвески конвейера с выплавленными оболочками при выходе из ванны, наезжают на копир и, обкатывая



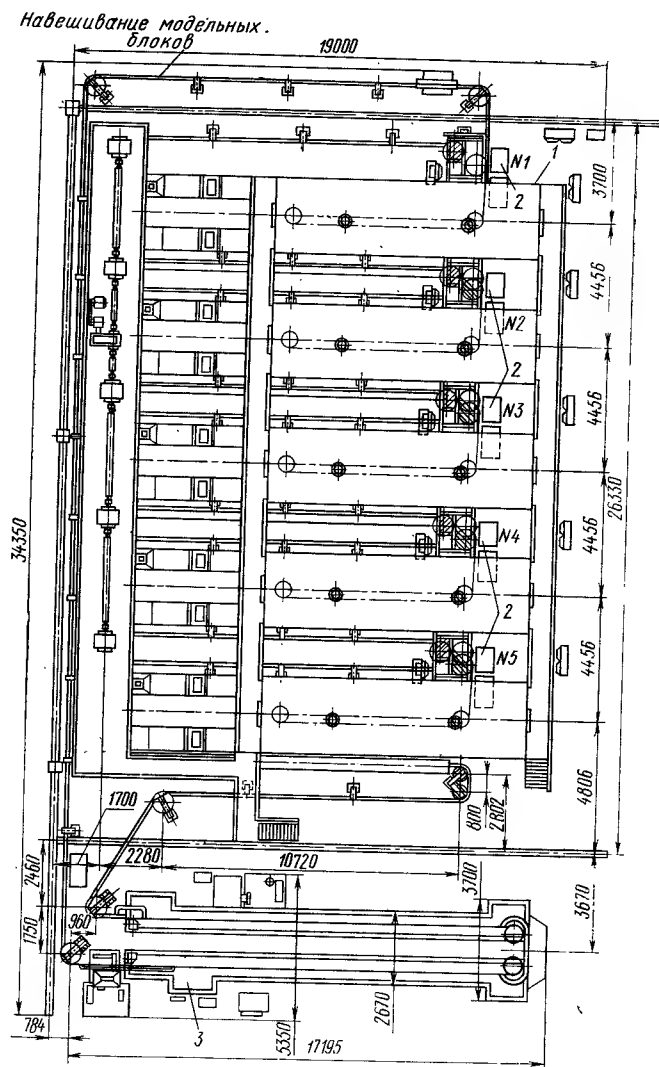


Рис. 10.4. Схема автоматической линии изготовления оболочек

его, поднимаются, получая вращение вокруг продольной оси. При вращении из оболочки выливаются вода и модельный состав. После выплавки модели оболочки снимают с конвейера. Освобожденные стояки проходят мойку и возвращаются на участок изготовления модельных блоков.

Автомат изготовления оболочек (рис. 10.5). Автомат состоит из трех узлов: пескосыпа с «кипящим слоем», ванны с суспензией и бака хранения и подачи суспензии. Блоки 1 по конвейеру 3 посту-

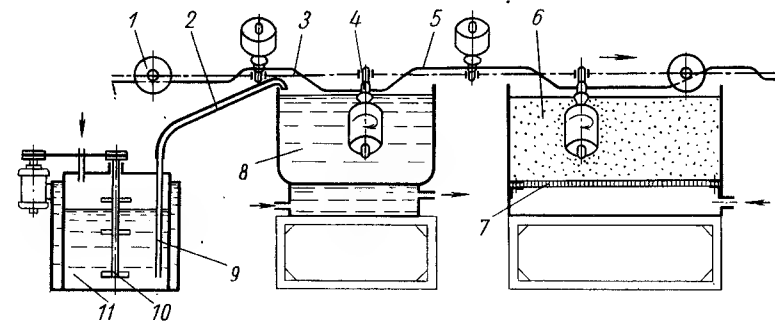


Рис. 10.5. Схема автомата изготовления оболочек

пают к ванне 8 с суспензией. Подвеска конвейера 4, на которой укреплен блок, обкатывая копир 5, поднимается, переходит через край ванны и, двигаясь далее вдоль опускающегося копира, погружает блок в суспензию. Суспензия в ванне охлаждается проточной водой, пропускаемой через рубашку под днищем ванны. Для предотвращения оседания пылевидной составляющей суспензии последняя непрерывно перемешивается (мешалка не схеме на показана).

При дальнейшем движении конвейера блок выходит из суспензии и поступает в пескосып «кипящего слоя» 6 с перфорированной перегородкой 7. В пескосыпе происходит обсыпка нанесенного слоя суспензии зернистым огнеупором. По мере расхода суспензии ванну пополняют, для чего в бак 11, где хранится суспензия, подают сжатый воздух, который выжимает ее через трубу 9 и далее по шлангу 2 в ванну. После выдачи необходимого количества суспензии подачу сжатого воздуха прекращают, а давление в баке 11 сбрасывают. В баке суспензия непрерывно перемешивается мешалкой 10 и охлаждается водой. В ванне с суспензией предусмотрены устройства для слива и промывки, а в пескосыпе система очистки песка.

Механизированная поточная линия заформовывания оболочек, прокаливания, заливки форм, охлаждения и выбивки отливок конструкции ЗИЛ (рис. 10.6). Замкнутую поточную линию образуют установка для заформовывания оболочек в опорный наполнитель (в опоках), печь 1 для прокаливания, заливочный роликовый конвейер 3, камера охлаждения 5, устройство 6 для выбивки опок и роликовый конвейер 8 для возврата пустых опок.

В опоки, расположенные на формовочных столах 11, ставят оболочки и сверху из бункеров 12 насыпают опорный наполнитель, уплотняемый вибраторами. Наполнитель, просыпанный при заполнении опок, попадает в приемный бункер пневмотранспорта и возвращается в бункера 12. Заформованные опоки толкателями 9 продвигаются в газовую двухрядную проходную печь 1 для прокаливания. Прокаленные опоки извлекают из печи с помощью цепных вытаскивателей и подают на приемные столы 2. Продукты го-

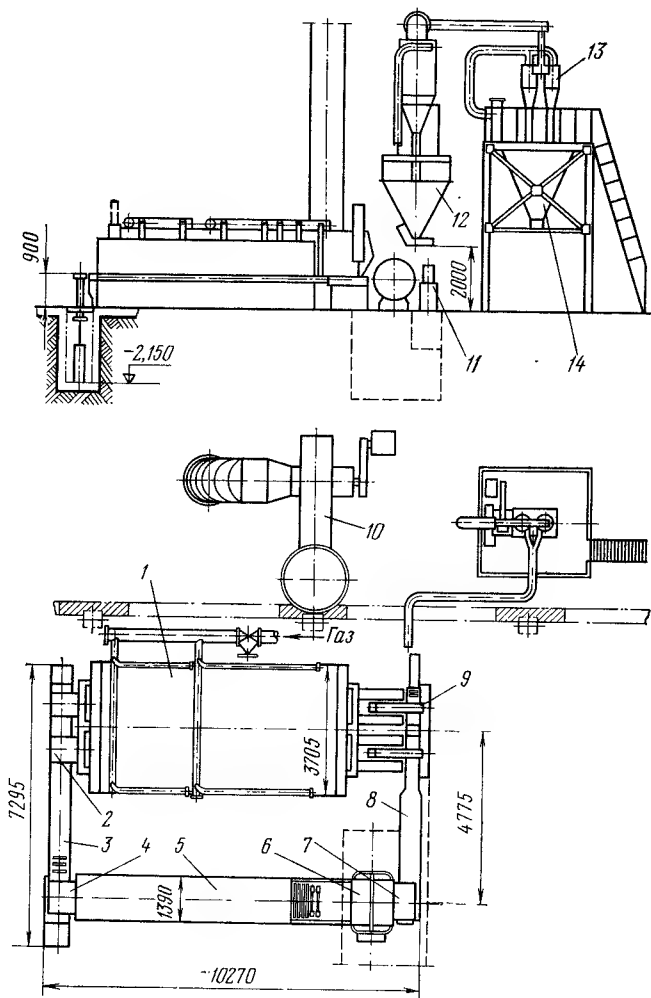


Рис. 10.6. Механизированная поточная линия для заформовывания оболочек, прокаливания заливки форм, охлаждения и выбивки отливок

рения удаляются из печи дымососной установкой 10. Приемные столы 2 опускают и ставят опоки на приводной рольганг 3, на котором формы заливают расплавом. После заливки опоки по роликовому конвейеру поступают на подъемный стол 4, который поднимает их до уровня роликового конвейера камеры охлаждения 5. В последнюю опоки перемещаются гидравлическим толкателем. Охлажденные опоки из камеры поступают в поворотное устройство 6 для выбивки. Во время поворота опоки включают пневматические вибраторы и наполнитель из опок высыпается через решетку на экс-

центриковое сито. Отсев сыпается в ящик, стоящий на роликовом конвейере, а просеянный наполнитель системой пневмотранспорта 13, 14 возвращается в бункера, расположенные над формовочными столами. После выбивки машина возвращается в исходное положение и опока поступает на приемный стол 7 роликового конвейера 8 возврата пустых опок. Здесь отливки удаляют из опок, а последние вновь подают на формовочные столы.

Если позволяют условия, то заливочную площадку лучше выполнять приподнятой над уровнем пола. В этом случае отпадает необходимость опускать опоки по выходе их из печи и поднимать для подачи в камеру охлаждения. Камера охлаждения должна иметь объем, примерно равный печи прокаливания; в противном случае формы не успеют достаточно охладиться. Следовательно, в рассматриваемой схеме камера охлаждения должна быть двухрядной.

Комплексная механизированная поточная линия прокаливания, формовки, заливки оболочек форм, выбивки и охлаждения отливок (мод. 675А). Эта линия (рис. 10.7) рассчитана на прокаливание оболочек без опорного материала. Она состоит из печи прокаливания 1, заливочной карусели 3 и камеры охлаждения 7, объединенных конвейером 9.

Оболочки формы устанавливают на подвески 10 конвейера, литниковые воронки закрывают колпачками, которые фиксируют оболочки на подвесках и предохраняют их полости от засора. Конвейер транспортирует подвески через печь прокаливания. Внутри печи

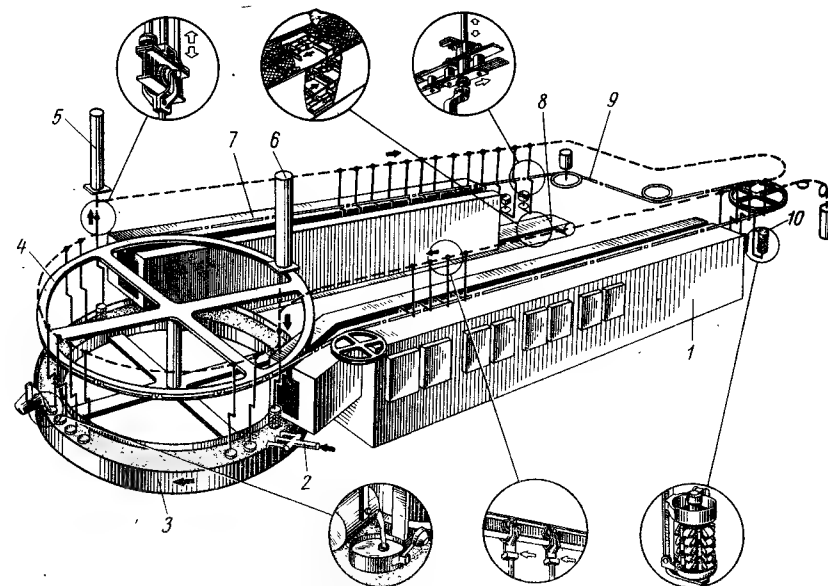


Рис. 10.7. Схема комплексной механизированной поточной линии прокаливания, формовки, заливки оболочек форм, выбивки и охлаждения блоков отливок

через щель в своде заходит только нижняя часть подвески из жаростойкой стали, цепь же конвейера, ходовая часть подвесок и трасса работают вне горячей зоны печи. Сверху вдоль всей щели в своде предусмотрена вытяжная вентиляция для отсоса выбивающихся из печи газов. Прокаленные оболочки у выхода из печи погружаются в горячий песок, которым заполнен желоб заливочной карусели.

Привод заливочной карусели осуществляется конвейером через звездочку 4. Опускание подвесок выполняет пневматический лифт 6, который перебрасывает каретку подвесок с верхней трассы на нижнюю при движении конвейера. При опускании штанга подвески скользит во втулке тяговой цепи конвейера. Погружение подвесок с оболочками в песок становится возможным благодаря созданию на позициях погружения (формования) «кипящего слоя». «Кипение» его достигается продувкой снизу горячими газами, поступающими из печи через неподвижный коллектор 2. Трубы коллектора опущены в желоб карусели через край и не мешают вращению ее, работая в «кипящем слое» подобно плугу.

При дальнейшем движении конвейера оболочки, погруженные на подвесках в песок выходят из зоны «кипения» и оказываются заформованными. По внешнему сектору вращающейся карусели формы заливают расплавом. Перед заливкой откидывают колпачки, прикрывающие литниковые воронки.

Блоки отливок, затвердевая и частично охлаждаясь в опорном наполнителе, движутся к камере 7. У входа в камеру подвески с залитыми блоками выдергивают из карусели пневматическим подъемником 5. При этом каретка подвески переставляется с нижней трассы обратно на верхнюю. Песок с подвесок и блоков отливок ссыпается в желоб карусели, а подвеска с блоком отливок продолжает движение по конвейеру, проходит в камеру 7, где отливки окончательно охлаждаются водяным душем. Вышедшие из камеры 7 блоки отливок снимают с подвесок, и последние возвращаются на рабочее место установки оболочек. Снизу вдоль камеры охлаждения проходит ленточный конвейер 8, передающий смытый водой песок и кусочки оболочки на общецеховой конвейер убошки отходов.

Для поддержания постоянного уровня песка в желобе карусели имеется бункер досыпки, в который сухой песок подают со склада пневмотранспортом.

Автоматическая линия очистки отливок от оболочки и отделения отливок от стояка конструкции НИИТАвтопром (рис. 10.8). Линия имеет три основных механизма: установку очистки отливок II, горизонтальный гидравлический пресс для отделения отливок от стояка I (гидравлическая станция на рисунке не показана) и конвейер III.

При работе линии на приемные призмы 9 тележки конвейера 15 укладывают блок отливок 8. В исходном положении тележки вторая пара призм 7 с блоком находится на позиции очистки отливок. Перемещаясь по направляющим 6, тележка передает блок 8 на позицию очистки, а очищенный блок на пресс. Приводом тележки кон-

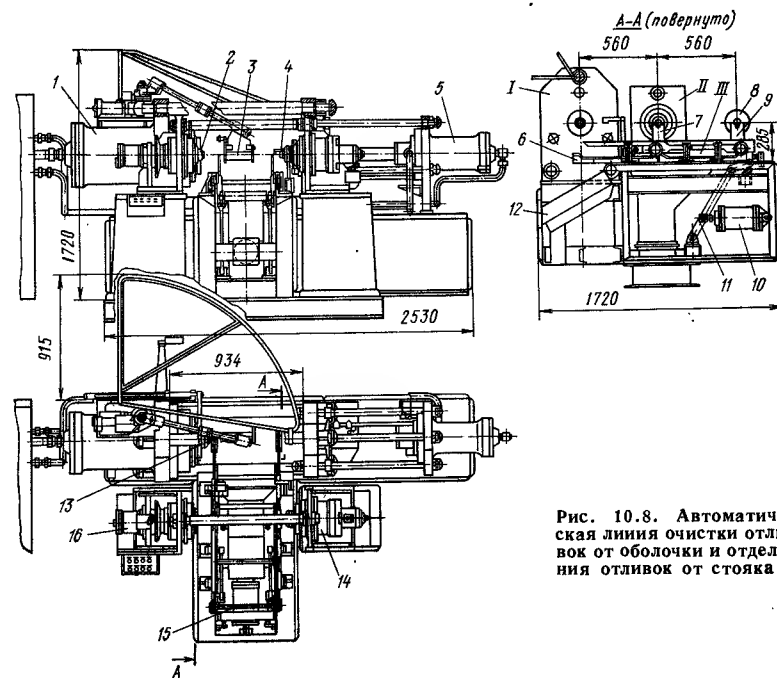


Рис. 10.8. Автоматическая линия очистки отливок от оболочки и отделения отливок от стояка

вейера служит пневмоцилиндр 10, действующий через кулисный механизм 11. При подходе к крайним положениям тележка приподнимается благодаря форме направляющих 6, а при обратном ходе начинает свое движение с опускания. Этим обеспечивается беспрепятственный выход призм из зацепления с зажатými на рабочих позициях блоками при отходе тележки конвейера.

Механизм очистки состоит из цилиндра зажима блоков 16 и вибрационного устройства 14, смонтированных на общей станине. При подходе тележки конвейера блок отливок, поданный на очистку, зажимается между упорами отбойного молотка и зажимного цилиндра за счет срабатывания пневматических цилиндров. Затем тележка отходит, включается отбойный молоток и начинается очистка отливок от оболочки. Во избежание жестких ударов отбойный молоток подпружинен. Отскочившие кусочки оболочки падают вниз и через проем станины ссыпаются на ленту конвейера уборки отходов. Длительность очистки регулируют с помощью реле времени. После окончания очистки упоры раздвигаются и блок отливок спадает на призмы 7.

При следующем ходе тележки очищенный блок подается на гидравлический пресс. На рабочей позиции пресса блок зажимается между упором 2 рабочего цилиндра 1, упирающегося в воронку, и штоком 4 подпорного цилиндра 5, упирающегося в металлоприемник. После отхода конвейера под действием рабочего цилиндра

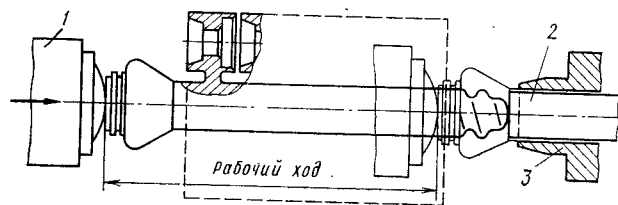


Рис. 10.9. Схема отделения отливок от стояка на горизонтальном прессе:

1 — упор рабочего цилиндра; 2 — шток подпорного цилиндра; 3 — фильера

стояк проталкивается через фильеру (рис. 10.9). Ход пресса может быть пульсирующим. Рабочие кромки фильеры скалывают питатели и отливки падают на наклонный стол 12 (см. рис. 10.8) пресса и далее в тару либо на ленту конвейера. Обрубленный стояк выталкивается из фильеры штоком подпорного цилиндра.

Обрубленный стояк убирается из рабочей зоны пресса манипулятором 13 с захватом 3 и сбрасывается им в тару или на конвейер. На освободившуюся позицию пресса подается для обрубки следующий блок отливок.

Работа механизма очистки и пресса идет одновременно, синхронность и блокировки обеспечиваются системой автоматики. Линию обслуживает один рабочий, который укладывает блоки отливок на приемные призмы конвейера и следит за работой механизмов.

Полуавтоматическая установка для обрубки питателей конструкции НИИТАвтопрома (рис. 10.10). Установка создана на базе пресса мод. К2130А и оснащена поворотным столом 1, на котором установлены шесть приспособлений. В каждое из них на позициях загрузки вручную укладывают отливки. Две позиции загрузки рас-

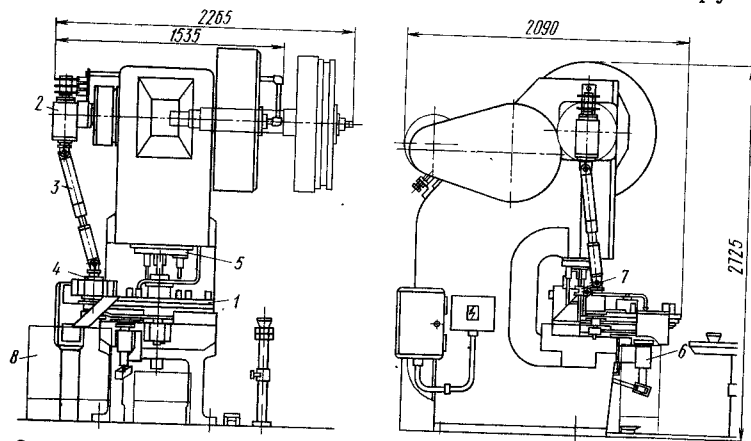


Рис. 10.10. Полуавтоматическая установка для обрубки питателей

положены на выступающей из-под пресса стороне поворотного стола. Стол поворачивается при каждом ходе пресса на 60° и по очереди подает приспособления с отливками на позицию обрубки — под нож, укрепленный на верхней плите 5. При рабочем ходе ползуна пресса отливки сначала прижимаются к приспособлениям механизмом прижима 7, а затем нож срубает выступающий питатель. Отрубленные питатели проваливаются через окно под стол пресса в тару для отходов. Привод поворотного стола осуществляется от вала пресса через верхний редуктор 2, карданный вал 3 и нижний редуктор 4. Обрубленные отливки выталкиваются из приспособлений механизмом 6. Отливка падает на лоток и затем соскальзывает в тару 8, установленную сбоку пресса. Производительность установки до 2100 отливок в час.

Механизация взвешивания и транспортирования шихты к плавильным печам. В цехах литья по выплавляемым моделям в качестве шихты обычно используют отходы кузнечно-штамповочных цехов (высечку, клещевину), отходы собственного производства (литники, брак отливок), а также ферросплавы и свежий металл.

На рис. 10.11 приведен план расположения оборудования для взвешивания и транспортирования шихты, по проекту Гипротракторосельхозмаша. На складе шихты имеется кран 1 с магнитной шайбой для разгрузки металла и раздачи его по бункерам 2. Для каждой составляющей шихты предусмотрен свой бункер. Вдоль фронта бункеров по рельсам передвигается весовая тележка 3, на платформу которой ставят бадью. Рабочий подъезжает на весовой тележке к нужному бункеру, включает питатель 4 и шихта поступает в бадью. Набрав нужное количество, рабочий отключает питатель и переезжает к другому бункеру для взвешивания следующего компонента. После набора всей порции шихты бадья подвозится на позицию 5, где цепляется за электроталь, развозящую шихту по плавильным печам 6.

Автоматизация с помощью промышленных манипуляторов. На рис. 10.12 показан план расположения механизмов автоматической линии для изготовления модельных блоков конструкции НИИТАавтопрома и ХФ ВНИИЛитмаша. На линии изготавливаются звенья моделей из пенополистирола и собираются в блоки. Линия состоит из 10-позиционного термопластавтомата 1 для изготовления звеньев моделей, автомата сборки блоков моделей 2 с встроенным манипулятором 3 и двух отдельно стоящих манипуляторов 4 и 6 с программным управлением. Манипулятор 3 забирает изготовленное звено моделей из открытой пресс-формы на позиции А термопластавтомата и надевает его на стояк, расположенный на позиции Б автомата сборки. Манипулятор 4 перевешивает собранные модельные блоки с автомата сборки на толкающий конвейер, а манипулятор снимает с толкающего конвейера стояки и устанавливает их на поворотный стол автомата сборки. Подвески толкающего конвейера фиксируются против манипуляторов остановами 5 [80, 81].

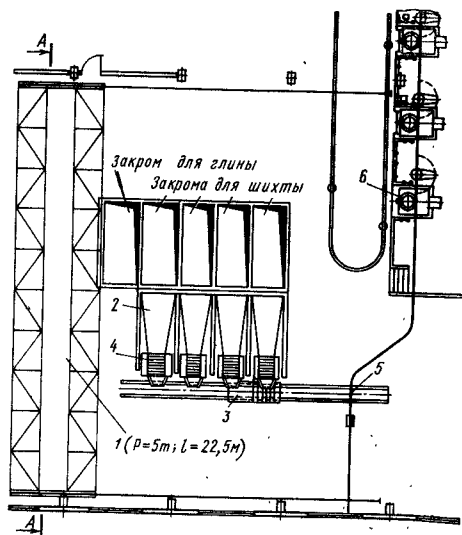


Рис. 10.11. План расположения оборудования для взвешивания и транспортирования шихты

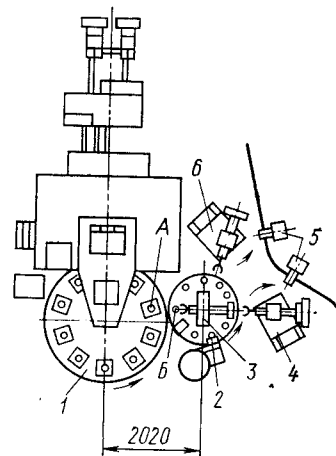


Рис. 10.12. План расположения механизмов автоматической линии для изготовления модельных блоков

На рис. 10.13 показан манипулятор с программным управлением, спроектированный ХФ ВНИИЛитмаша для цехов литья по выплавляемым и выжигаемым моделям. Манипулятор предназначен для замены человека на тяжелых, монотонных и вредных операциях, например при изготовлении оболочковых форм.

Техническая характеристика манипулятора мод. 5102

Грузоподъемность, кг	40
Наибольшая высота подъема руки, мм	500
Наибольшее горизонтальное перемещение руки, мм	1000
Наибольший угол поворота руки вокруг вертикальной оси, °	270
Наибольшее перемещение стойки, мм	500
Точность позиционирования, мм	±2
Число степеней свободы (без захвата)	6
Наибольшая линейная скорость, м/с	0,6
Установленная мощность, кВт	5
Масса, т	1,6

Имеется положительный опыт использования автоматических манипуляторов в цехе литья по выплавляемым моделям завода «Автоцветлит» (г. Мелитополь). В этом цехе манипуляторами заменили рабочих на тяжелой операции съема залитых блоков с подвесок агрегата мод. 675А.

Механизация управленческого труда. В условиях комплексной автоматизации производственных процессов большое значение приобретает механизация и автоматизация работ, связанных с учетом и оперативным управлением производством.

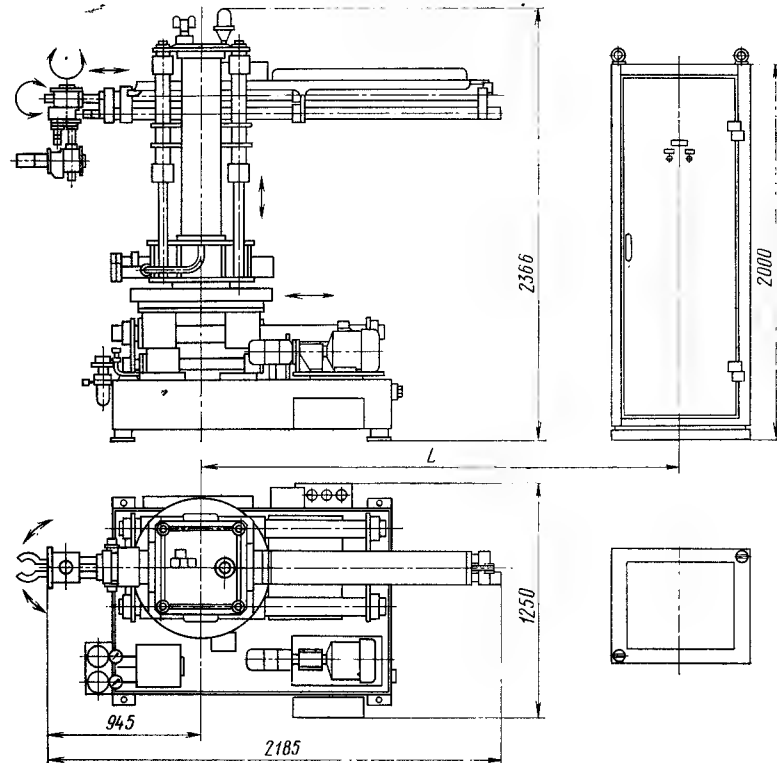


Рис. 10.13. Манипулятор с программным управлением мод. 5102

На рис. 10.14 приведена принципиальная схема оперативного управления крупным цехом, разработанная НИИТАвтопромом. Технические средства оперативного управления производством выполняют следующие функции:

дистанционный автоматический учет числа собранных блоков моделей, оболочек (годных, забракованных, поступивших на прокаливание) и обрубленных блоков отливок;

дистанционный автоматический учет запаса оболочек на складе;

дистанционный полуавтоматический учет числа отливок по наименованиям, поступивших на склад и выданных со склада готовой продукции цеха;

автоматическое фиксирование учетной информации на рапорте с помощью электроуправляемой пишущей машинки;

дистанционную автоматическую передачу всей учетной информации в информационно-вычислительный центр завода (ИВЦ), который разрабатывает и выдает цеху подетальные производственные программы запуска и выпуска, обрабатывает аналитически сводки выполнения планов цехом;

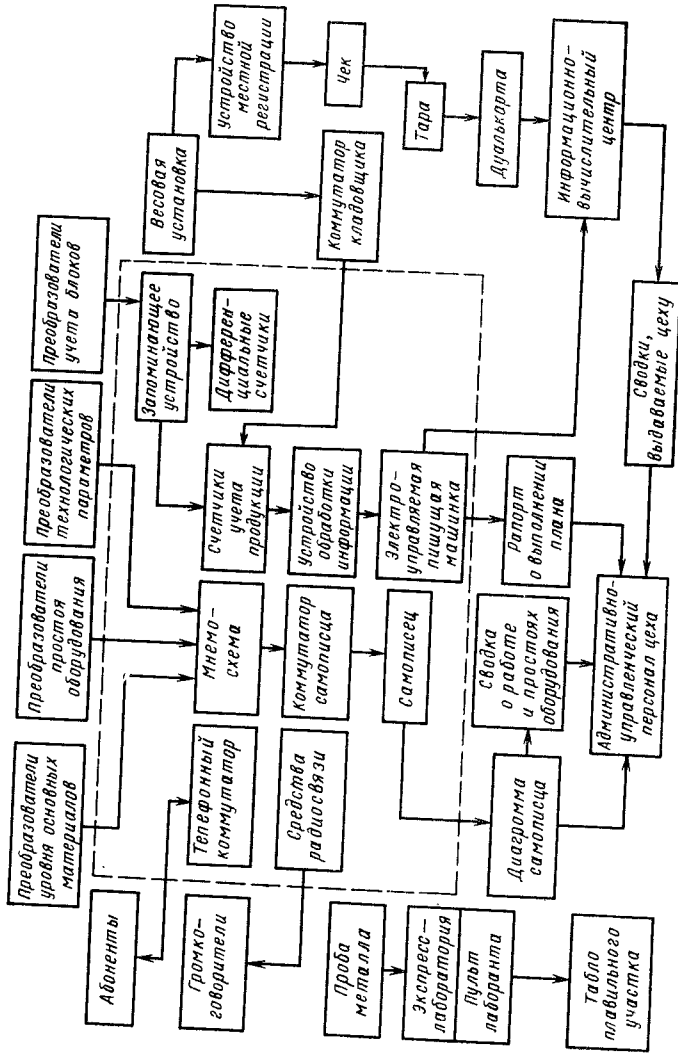


Рис. 10.14. Принципиальная схема оперативного управления цехом литья по выплавляемым моделям (технические средства контрольно-диспетчерского пункта выделены рамкой)

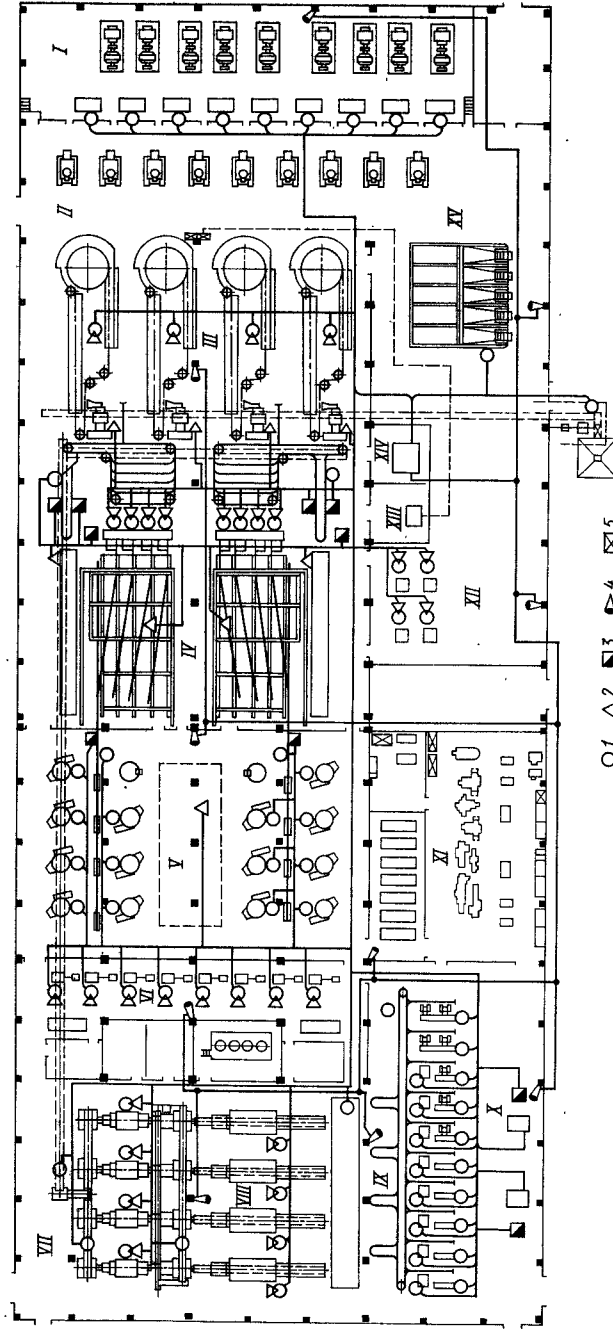


Рис. 10.15. Расположение технических средств учета и оперативного управления производством:

Рис. 10.15. Расположение технических средств учета и оперативного управления производством:

I — зал генераторов; II — плавильный участок; III — участок обжига, формовки, заливки оболочковых форм, выбивки и охлаждения блоков отливок; IV — участок изготовления оболочковых форм; V — участок изготовления модельных отливок; VI — участок приотвора модельного состава; VII — участок очистки отливок; VIII — участок термообработки; IX — участок обдувки и отделки отливок; X — склад отливок; XI — ремонтная мастерская; XII — участок приготвления суспензии; XIII — экспресс-лаборатория; XIV — контрольно-диспетчерский пункт; XV — склад шихты; XVI — измерительный преобразователь контроля производственного состояния оборудования; 1 — измерительный преобразователь технологического параметра; 2 — измерительный преобразователь температуры; 3 — измерительный преобразователь расхода; 4 — динамический громкоговоритель; 5 — цифровое табло

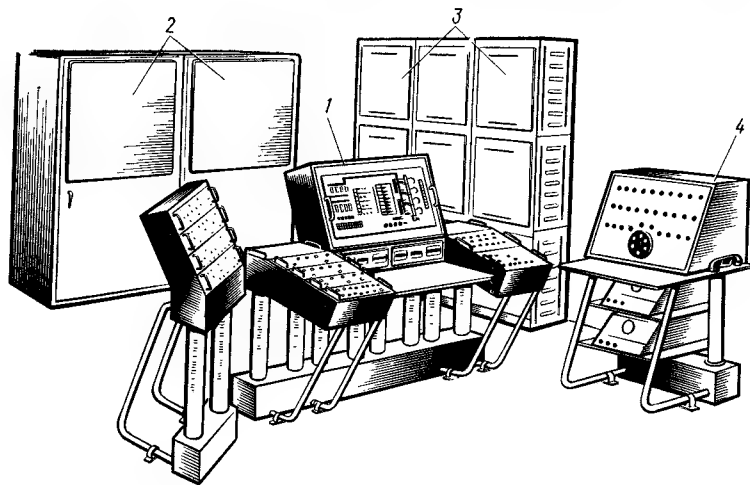


Рис. 10.16. Контрольно-диспетчерский пункт цеха

сигнализацию о производственном состоянии основного оборудования цеха;

автоматическую, выборочную регистрацию времени работы и простоев основного оборудования цеха;

дистанционный автоматический контроль наличия основных материалов;

диспетчерскую телефонную связь внутри цеха;

производственную радиофикацию цеха;

передачу результатов химического анализа металла из экспресс-лаборатории на плавильный участок.

На рис. 10.15 показано расположение технических средств применительно к плану расположения оборудования цеха мощностью 4000—5000 т в год. Вся полученная информация сосредотачивается в контрольно-диспетчерском пункте (КДП) (рис. 10.16). Сигнализирующая и управляющая аппаратура расположена на панелях пульта диспетчера 1. На панель вынесены дифференциальные счетчики, показания которых необходимы диспетчеру для оперативной деятельности, а остальные установлены в шкафах 2. Вспомогательная аппаратура смонтирована в стойках 3. Коммутатор 4 — на столе.

Функции оперативного управления производством осуществляются следующим образом.

Собранные модельные блоки считаются контактными преобразователями на конвейерах, передающих блоки с модельного участка к автоматам изготовления оболочковых форм. Счет регистрируется на КДП. После выплавления моделей подсчет оболочковых форм производится на конвейерах, подающих их на обжиг. Так как часть из них может не сниматься у агрегатов обжига и возвращаться к месту счета, число их определяют как разность между числами про-

шедших по подающей и возвратной ветвям конвейера. Вычитание производится автоматически дифференциальным счетчиком. Учет забракованных оболочек осуществляется аналогично, как разность между числом выплавленных и суммы поступивших на склад и на агрегаты обжига.

Оболочки, поступившие на прокаливание, учитываются на конвейерах агрегатов обжига измерительными преобразователями, сигналы с которых поступают на запоминающее устройство, а после опроса — на счетчики аппаратного шкафа КДП.

Обрубленные блоки отливок учитывают измерительные преобразователи, установленные на прессах-автоматах для отделения отливка от стояка.

Дистанционный полуавтоматический учет отливок (по наименованиям), поступивших на склад готовой продукции цеха, осуществляется с помощью установки, состоящей из платформенных весов с циферблатным указателем, позволяющим преобразовывать массу взвешенных отливок в электрические импульсы; устройств местной регистрации массы и передачи данных взвешивания на расстояние. При поступлении на склад очередного стандартного ящика с одинаковыми отливками кладовщик ставит его на платформу весов и на пульте набирает шифр взвешиваемых отливок. Убедившись в правильности набора шифра по контрольной сигнализации, кладовщик нажимает кнопку «Ввод информации». При этом данные о массе отливок фиксируются на ленте регистрации и передаются в КДП на соответствующий счетчик. Кроме этого, данные о массе отливок поступают на суммирующий счетчик, и диспетчер может следить за общей массой отливок, выпущенных цехом. После взвешивания кладовщик направляет ящик с отливками на стеллаж, сопровождая его чеком с данными взвешивания, который он отрывает от ленты регистрации массы отливок.

Для учета отливок, выданных со склада, служит дуаль-карта. По чеку, находящемуся в ящике с отливками, кладовщик отмечает массу отправляемой партии в дуаль-карте и отправляет ее на ИВЦ.

По команде диспетчера автоматически печатается рапорт со всей информацией, накопленной на КДП. Этот рапорт используется руководством цеха для оценки деятельности подразделений цеха. Дистанционная передача информации в ИВЦ осуществляется по его запросу раз в сутки в том же объеме, что и на внутрицеховом рапорте. В ИВЦ эта информация используется при составлении аналитических сводок о выполнении плана цехом, для внесения коррективов в программу цеха и др.

Сигнализация о производственном состоянии оборудования осуществляется с помощью мнемонической схемы. На изображении агрегатов (на схеме) установлены лампы, сигнализирующие об остановке агрегатов. Кроме того, на мнемонической схеме имеются сигнальные лампы, предупреждающие о нарушениях технологических параметров, влияющих на качество выпускаемой продукции.

Классификация цехов литья по выплавляемым моделям

Вид цехов	Характеристика
По виду литейного сплава	
Стального литья	Производство отливок общемашиностроительного назначения из углеродистых и низколегированных сталей: детали автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, станков, приборов, швейных машин, велосипедов и т. п.
Специального литья	Производство отливок из коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей, магнитных и других специальных сплавов
Инструментального литья	Производство отливок из сталей и сплавов высокой твердости и износостойкости для режущего и мерительного инструмента
Цветного литья	Производство отливок из алюминиевых, медных, магниевых, титановых и других сплавов на основе цветных металлов
Чугунного литья	Производство отливок из чугуна
По массе отливок	
Мелкого литья	Средняя масса отливок до 0,1 кг
Среднего литья	Средняя масса отливок 0,1—0,5 кг
Крупного литья	Средняя масса отливок более 0,5 кг
По объему производства	
С малым выпуском	Выпуск до 1000 т отливок в год
Со средним выпуском	Выпуск 1000—2500 т отливок в год
С большим выпуском	Выпуск более 2500 т отливок в год
По серийности производства	
Массового производства	Выпуск малой номенклатуры отливок в большом количестве
Серийного производства	Выпуск широкой номенклатуры отливок в большом количестве
Единичного производства	Широкая номенклатура отливок, изготавливаемых в малом количестве отдельными заказами
По степени механизации	
Механизированно-ручного производства	Выполнение технологических процессов в основном вручную с помощью простейших механизмов и инструмента, облегчающих труд и ускоряющих производственный процесс
Механизированный	Выполнение технологических процессов в основном с помощью машин и механизмов, получающих энергию от специального источника. Управление машинами и механизмами, выполнение вспомогательных процессов и операций осуществляется вручную

Продолжительность работы и простоев оборудования регистрируется с помощью автоматического самопишущего прибора. Автоматическая регистрация позволяет анализировать работу оборудования по объективным данным и принимать необходимые меры.

Контроль наличия на складе жидких составляющих суспензий (этилсиликата, ацетона и др.) осуществляется измерительными преобразователями — уровнемерами, устанавливаемыми в емкостях их хранения.

Диспетчер имеет в своем распоряжении телефонный коммутатор (с устройствами светового вызова абонента в шумных местах цеха) и 20 каналов громкоговорящей связи, подключать которые можно по одному и все сразу. Средства радиосвязи используют для поиска и вызова работников цеха, для распоряжений, объявлений и т. п. Сигнализация химического анализа металла обеспечивает быструю передачу сведений из экспресс-лаборатории на плавильный участок. По команде из лаборатории на табло плавильного участка загораются цифры, обозначающие содержание химических элементов в сотых долях процента.

10.2. ЦЕХИ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Цехи литья по выплавляемым моделям в структуре машиностроительного предприятия относят к основным (производственным) заготовительным литейным цехам.

Цехи различают (табл. 10.1) по роду сплава, массе отливок, объему производства, серийности, степени механизации и сложности отливок.

В состав цехов входят производственные отделения (участки), вспомогательные отделения (участки) и склады.

К производственным отделениям, где выполняется собственно технологический процесс изготовления отливок, относят следующие: модельное, в котором готовят модельный состав, изготавливают модели, собирают блоки моделей; изготовления оболочек форм, в котором готовят суспензию, изготавливают оболочки, выплавляют из них модели; прокаточно-заливочное, в котором оболочки форм заформовывают в опорный наполнитель и прокаливают, плавят и заливают в формы металл, охлаждают и выбивают блоки отливок; термообрубное, где очищают отливки от остатков оболочек, отделяют отливки от ЛПС, зачищают питатели, проводят термообработку и исправляют дефекты отливок.

К вспомогательным относят следующие отделения: подготовки формовочных материалов и шихты, ремонта пресс-форм и другой технологической оснастки, мастерские механика и энергетика, цеховую лабораторию, вентиляционные и пылеочистные установки и КДП.

К складам относят закрытые склады шихтовых, формовочных, горючих материалов, готовых отливок.

В цехе предусматривают также помещения для культурно-бытового обслуживания работающих: санитарно-бытового назначения, общественного питания, здравоохранения, культурного обслуживания, учебных занятий и общественных организаций, управлений.

Вид цехов	Характеристика
Комплексно-механизированный	Выполнение всех технологических процессов основного и вспомогательного производства с использованием машин, механизмов, приборов и других средств механизации. Допускается на отдельных операциях, процессах и в подразделениях ручной труд
Автоматизированный	Выполнение всех технологических процессов основного производства с помощью автоматов, автоматических линий и других средств автоматизации производства. Вспомогательные работы и процессы выполняются с помощью различных средств механизации с элементами автоматизации отдельных работ. Допускается на отдельных операциях, процессах и в подразделениях механизированный и ручной труд
Комплексно-автоматизированный	Выполнение всех технологических процессов основного и вспомогательного производства с помощью автоматического оборудования и устройств. За работающими остаются только функции наблюдения, регулирования и управления ходом заданного технологического процесса. Допускается на отдельных операциях, процессах и в подразделениях механизированный и ручной труд
Простого литья	По сложности отливок *
Средней сложности литья	Производство в основном простых и несложных отливок
Уникального литья	Производство в основном отливок средней сложности Производство в основном особо сложных отливок

* Группы сложности отливок приняты в соответствии с прейскурантом оптовых цен на отливки.

10.3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА ЦЕХА

Исходными данными для разработки проекта цеха служат следующие основные документы: задание на проектирование (включает технико-экономическое обоснование проекта); производственная программа; чертежи и технические условия на отливки.

Производственная программа. Программа может быть точной (подетальной), приведенной или условной. Подетальную программу производства массовых и крупносерийных отливок составляют по форме 10.1 Программу приводят по видам металла, изделиям и узлам (группам) в порядке возрастания номеров узлов и деталей. На основании подетальной программы составляют производственную программу по форме 10.2, которую заполняют по видам и маркам металла.

Технологический процесс и оборудование. Выбор варианта технологического процесса является определяющим, главным в проек-

Подетальная программа цеха — завода

№ п.п	№ детали	Наименование детали	Металл и марка	Масса, кг		На изделие		Годовая программа выпуска отливок						
				детали	отливки	шт.	отливок, кг	на изделие		на запасные части		Всего		
								шт.	т	%	шт.	т	шт.	т
По изделию А														
По изделию Б														

Форма 10.2

Производственная программа

№ п.п.	Наименование изделия	Годовой выпуск изделий (комплектов), шт.	Масса отливок на одно изделие, кг	Запасные части, % по массе	Годовой выпуск отливок, т		
					на основную программу	на запасные части	Всего

тировании цеха. Выбранные варианты технологического процесса и оборудование должны обеспечивать получение отливок нужного качества с наименьшими трудовыми и материальными затратами. Для выполнения этой задачи проектировщик должен не только располагать сведениями о передовом отечественном опыте, но и учитывать данные научно-технического прогноза, чтобы к моменту ввода в эксплуатацию новое производство было на уровне мировых технических достижений.

Для оценки варианта нового технологического процесса его сравнивают с наилучшим из известных, который принимают за базовый. Оптимальной технологией изготовления отливок считают ту, которая обеспечивает минимум приведенных народнохозяйственных затрат на производство готовых деталей.

Для практических расчетов по выбору оптимального технологического процесса Б. В. Кнорре рекомендует использовать упрощенную формулу

$$П = (C_{л} + C_{м}) B_{г} + E_{н} (K_{л} + K_{м}),$$

где $C_{л}$ и $C_{м}$ — себестоимости изготовления отливок в литейном цехе и механической обработки, руб/т, руб/шт; $B_{г}$ — выпуск отливок, т/год, шт/год; $E_{н}$ — коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{н} \geq 0,12$; $K_{л}$ и $K_{м}$ — капитальные вложения по варианту

технологии производства отливок в литейном цехе и в механическом цехе, руб.

В соответствующих главах книги даны основы для выбора технологий и оборудования, отвечающие особенностям производства отливок различного назначения.

В табл. 10.2 приведены рекомендуемые процессы и оборудование (без плавильного) для цехов, выпускающих мелкие и средние стальные отливки.

Исходные технологические данные отдельно по каждой группе по массе рассчитывают и заносят в ведомости по форме 10.3.

Форма 10.3

Исходные технологические данные
(группа отливок по массе)

№ п.п.	№ детали	Масса отливки, кг (А)	Про- грамма		Число моделей в звене (В)	Число звеньев в блоке	Число моделей в блоке (Г)	Число модель- ных звеньев (моделей) на про- грамму	Число блоков на программу (Д)	Масса модельного состава, кг		
			шт. (Б)	кг						на одну модель (Е)	на один блок (Ж)	на про- грамму
								Б/В	Б/Г	$A\rho_1/\rho_2$	$E \times Г + V_{л}\rho_1$	$Ж \times Д$
Итого												

Пр и м е ч а н и е. ρ_1, ρ_2 — плотности соответственно модельного состава и материала отливки, кг/м³; $V_{л}$ — объем ЛПС и модельного стояка (или суммы модельных втулок), м³

Примечание. ρ_1, ρ_2 — плотности соответственно модельного состава и материала отливки, кг/м³; $V_{л}$ — объем ЛПС и модельного стояка (или суммы модельных втулок), м³.

Рекомендуется деление номенклатуры отливок на восемь групп по массе, кг: $<0,02$; $0,02 - 0,04$; $0,04 - 0,06$; $0,06 - 0,1$; $0,1 - 0,2$; $0,2 - 0,6$; $0,6 - 1,5$ и $>1,5$. Такое деление оправдано тем, что для каждой группы отливок характерны свои технологические нормы и показатели.

Форма 10.3 содержит только исходные технологические данные и использовать их для расчета числа оборудования нельзя. В этих данных не учтены неизбежные на производстве потери и брак из-за некачественных материалов, ошибок рабочего, неисправности оборудования и других причин. Брак и потери на производстве возмещают путем увеличенного против программы изготовления моделей, форм или отливок по переходам процесса. Для определения числа подлежащих изготовлению моделей, форм и отливок на которое рассчитывают оборудование, вводят коэффициенты технологических потерь:

$$k = B_{\pi}/B,$$

где B_{π} — число отливок, форм или моделей, которое необходимо изготовить в данном отделении для выполнения программы и для восполнения брака и потерь; B — число отливок, форм или моделей по программе (без учета брака и потерь).

Таблица 10.2

Рекомендуемые технологические процессы и оборудование для цехов стального мелкого и среднего литья

Операция	Краткое описание процесса	Характеристика оборудования [31]			
		Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более
Приготовление модельного состава	Расплавление и смешивание компонентов, очистка возвратов, приготовление воздушной пасты	Установка для приготовления модельного состава	652А	Цех с большим и средним выпуском	500 л
	Автоматическое изготовление модельных звеньев в водоохлаждаемых пресс-формах	Автомат для изготовления модельных звеньев	651	Любые цехи	63 л
Изготовление моделей выплавляемых	Изготовление моделей в ручных пресс-формах. Охлаждение погружением в ванну с водой или на воздухе	Линия полуавтоматическая для приготовления модельной пасты и изделий	653	Крупносерийное и массовое производство	250 заpress-совок
	Автоматическое изготовление модельных звеньев в водоохлаждаемых пресс-формах литьевым методом	Автомат для изготовления модельных звеньев в водоохлаждаемых пресс-формах литьевым методом	6А50 (включает 659А и 6А54)	Серийное и единичное производство	250 заpress-совок
Изготовление моделей выплавляемых (периодически выполняемых)	Автоматическое изготовление модельных звеньев в водоохлаждаемых пресс-формах литьевым методом	Автомат для изготовления модельных звеньев в водоохлаждаемых пресс-формах литьевым методом	69213	Любые цехи крупносерийного и массового производства	280 заpress-совок
					1

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Приготовление суспензии, ее хранение и транспортирование	Автоматическое приготовление суспензии в проходных смесителях совмещенным методом	Агрегат для приготовления огнеупорного покрытия	662А	Цехи с большим и средним выпуском	125 л	1 (до двух агрегатов)
	Смешивание порций компонентов суспензии	Установка для приготовления огнеупорного покрытия	661	Цехи с малым выпуском	60 л при переключении 60 мин	1 (до трех установок)
	Хранение суспензии при непрерывном перемешивании и охлаждении. Передача суспензии по резиновым шлангам путем вытеснения из баков сжатым воздухом	Агрегат хранения и транспортирования огнеупорного покрытия	666	Цехи с большим и средним выпуском	Общая вместимость (для хранения) 600 л	Рабочего не требуется
Изготовление оболочек	Окунание блока в суспензию и обсыпка в «княщем слое». Блок моделируется на металлическом стояке. Воздушно-аммиачная сушка. Выплавление в горячей воде или в модельном составе	Линия автоматическая для изготовления керамических блоков	6Б60 (включает 6А67, 6А82 и 672)	То же	200 блоков	3

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Изготовление оболочек	То же, только сушка на воздухе 2,5 ч каждого слоя	Линия автоматическая для изготовления керамических блоков	668	Цехи с малым выпуском	50 блоков	3
	Окунание блока в суспензию и обсыпка в «княщем слое». Блок моделируется собран на металллическом стояке	Полуавтомат для нанесения огнеупорного покрытия	6А63	Цехи с малым выпуском	200 покрытий	1
	Вакуумно-аммиачная сушка. Продолжительность 15—30 мин	Установка для вакуумно-аммиачной сушки	683	То же	12 четырехслойных блоков	1
	Сушка на воздухе. Время сушки 4 ч	Камера проходная с конвейером	Конструкция завода Ростсельмаш, серийно не изготавливается	Цехи с большим и средним выпуском	200 блоков	2
Выплавление моделей	Выплавление моделей в горячей воде или в модельном составе	Установка для выплавки модельного состава	672	Цехи с большим и средним выпуском	200 блоков в лнии 6Б60	1

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Выплавление моделей	Выплавление моделей в горячей воде	Установка для выплавки модельного состава	671	Цехи с малым выпуском	50 блоков	1
	Выплавление моделей паром	Автоклав для выплавки моделей	64501	Любые цехи	120 блоков	1
Прокаливание оболочек (включая заформовывание и выбивку)	Прокаливание в проходной газовой печи, заформовывание с использованием «кипящего слоя», охлаждение отливков ускоренное	Агрегат обжига, заливки и охлаждения	675А	Цехи с большим и средним выпуском. В основном для отливок не ответственного назначения	180	2
	Формовка оболочек в опоки, прокаливание, заливка на шаговом конвейере, охлаждение, выбивка кантованием опоки	Линия формовки, прокаливании, заливки и охлаждения отливок	АВА740Л	Любые цехи	25 форм	2
	Прокаливание оболочек, заформованных в опоки	Печь сопротивляющая, толкательная	СТ0.10.60.5/10	То же	25 форм	1

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Прокаливание оболочек (включая заформовывание и выбивку)	Прокаливание оболочек, заформованных в опоки	Печи газовые, толкательные, серийно не изготавлиются	Конструкция ЗИЛ Конструкция ГАЗ	Любые цехи То же	80 форм 60 форм	1 1
	Заформовывание оболочек в опоках, засыпка сверху, уплотнение опорного материала вибрированием	Установка для формовки оболочек	673	Цехи с малым выпуском	100 форм	1
	Выбивка залитых блоков из опоки кантованием	Установка для выбивки опоки	674	Цехи с малым выпуском	100 блоков	1
	Формовка прокатанных оболочек в опоках горячим песком, охлаждение залитых форм, расформовка	Линия формовки, заливки, выбивки. Серийно не изготавливается	Конструкция НИИТМ и завода Ростсельмаш	Цехи с большим выпуском	200 форм	2
Очистка отливок от оболочек и отделение отливков от стояка	Отбивка оболочек и отделение отливок путем вибрации блока	Установка для отделения керамики	6А92	Любые цехи	На отбивке оболочек до 45 блоков, на отделении отливок до 12 блоков	1 (до трех установок)

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Очистка отливок от обложки и отделение отливок от стояка	Отливка обложки вибрацией, скалывание отливок проталкиванием столба через кольцевую фильеру	Линия отливки керамич. и отделенных деталей. Серийно не изготавливается	Конструкция НИИГавтопром	Цех с большим и средним выпуском	90 блоков	1
	Отделение отливок от стояка кольцевой фильерой	Пресс гидравлический для отделения отливок от стояка	6А93	Любые цехи	100 блоков	1
	Очистка в горячем растворе щелочном, промывка в воде. Галтовка отливок	Установка для выщелачивания керамич. рамок	6А95	Любые цехи	200 кг	1 (до трех установок)
Химико-термическая очистка отливок от остатков обложки	Очистка в расплаве солей с одновременным изотермическим отжигом	Автоматизированная линия очистки и термообработки литья. Серийно не изготавливается	Конструкция АНИИТМ, (г. Барнаул)	Цехи с большим и средним выпуском	500 кг	1

Технологический процесс		Характеристика оборудования [31]				
Операция	Краткое описание процесса	Наименование	Модель	Область применения	Часовая производительность, не более	Число обслуживающих рабочих
Зачистка питателей	Зачистка по плоскости абразивным кругом	Наждачный станок для зачистки питателей. Серийно не изготавливается.	Конструкция НИИГавтопром	Крупносерийное и массовое производство	2100 отливок	2
		Машинная зачистная полуавтоматическая. Серийно не изготавливается	Конструкция НИИГавтопром (г. Минск)	Крупносерийное и массовое производство	2000 отливок	1
	Обработка питателя в штампе	Пресс механический	К-1430 изготовитель Завод механических прессов (г. Барнаул)	То же	700 отливок	1
Термообработка отливок	Нормализация отливок в защитной среде	Печь нормализации, газовая. Серийно не изготавливается	Конструкция Гипротракторосельхозмаш. Требуется установка для приготовления контрольной защитной среды	Цехи с большим и средним выпуском	300 кг	1 (до трех печей)

Для каждого производственного участка (группы операций) рассчитывают свой K , учитывающий потери и брак не только этой группы операций, но и всех последующих (табл. 10.3).

Примерные коэффициенты технологических потерь

Таблица 10.3

Группа операций или производственный участок цеха	Технологические потери и брак, %	Коэффициенты технологических потерь
Изготовление модельных блоков	15	$k_4 = 1,42$
Изготовление форм	3	$k_3 = 1,2$
Обжиг форм, плавка и заливка металла	5	$k_2 = 1,16$
Обрубка, термообработка и отделка отливок	9	$k_1 = 1,1$

Определив $k_1—k_4$, можно составлять ведомость объемов производства для расчета основного оборудования по форме 10.4.

Ведомость объемов производства

Форма 10.4

№ п.п	Группа отливок по массе, кг	Номенклатура отливок, шт.	Про- грамма		Число на програм- му, шт.	На программу с учетом потерь																								
			шт. (А)	кг (Б)		модельных звеньев (моделей) (В)	блоков (Г)	Число, шт.			Масса, кг																			
								модельных звеньев (моделей)	модельных блоков (Е)	оболочек	блоков отливок (Ж)	отливок	модельного со- става	суспензии	отливок (И)	металлозащитки														
Из формы 10.3																														
Из формы 10.3,																														
ИТОГ																														
$B \times k_4 + E \times n_1$																														
$\Gamma \times k_4$																														
$\Gamma \times k_3$																														
$\Gamma \times k_2$																														
$A \times k_1$																														
$D \times k_4$																														
$B \times k_1$																														
$I + Ж \times q_{л} \times k_{п.м}$																														

Примечания. 1. k — коэффициенты технологических потерь; n_1 — число моделей элементов литниковой системы на один блок (чаша, металлоприемник и т. п.); $q_{л}$ — масса литников на один блок; $k_{п.м}$ — коэффициент, учитывающий потери металла на угар, скрап, сливы и т. п., для стали $k_{п.м} \approx 1,06$, для цветных сплавов $k_{п.м} \approx 1,08$.
2. Массу суспензии рассчитывают в зависимости от числа слоев по укрупненным показателям (см. табл. 10.4) или, если номенклатура отливок невелика, по поверхности отливок.

Относительно точно расход суспензии на программу можно определить по суммарной поверхности модельных блоков. Средний расход суспензии на 1 $дм^2$ поверхности модели при нанесении одного слоя составляет 0,001 $дм^3$ или 16—17 г (при содержании в

суспензии 72 % по массе пылевидного кварца). Пример расчета расхода компонентов суспензии приведен в гл. 11.

В табл. 10.4 приведены ориентировочные показатели для расчетов исходных данных.

Таблица 10.4

Ориентировочные показатели для стальных отливок средней сложности

Показатель	Группы отливок по массе, кг							
	До 0,02	0,02—0,04	0,04—0,06	0,06—0,1	0,1—0,2	0,2—0,6	0,6—1,5	1,5 и более
Выход годного от заливочного металла, %	21	34	40	44	48	53	57	>57
Расход на 1 т годных отливок, кг:								
суспензии на один слой покрытия	290	200	170	155	126	103	95	<95
модельного состава (при 10 % потерь)	90	80	70	60	50	45	40	<40
песка	1300				1000			
Количество перерабатываемого модельного состава на 1 т годных отливок, кг	900	800	700	600	500	450	400	<400
Число отливок (моделей) в блоке длиной 500 мм	100	80	60	40	20	10	6	4

Расчет числа оборудования. При проектировании цеха число каждого вида основного технологического оборудования определяют по формуле

$$P_p = B_{п} / (\Phi_{д} H),$$

где $B_{п}$ — годовое количество перерабатываемого материала (суспензии, модельного состава, песка и т. д.) или число модельных звеньев, блоков, отливок; H — часовая производительность единицы оборудования (размерность та же, что и для $B_{п}$); $\Phi_{д}$ — действительный (расчетный) годовой фонд времени работы оборудования при выбранной сменности, ч (табл. 10.5).

В связи с тем, что в расчетном годовом фонде времени работы оборудования учитывают только потери времени на планово-предупредительный ремонт оборудования и не учитывают непредвиденные простои оборудования, при проектировании принимают к установке несколько большее число оборудования (с округлением в большую сторону, до целых единиц), чем получается по расчету.

Размер резерва, который должен компенсировать непредвиденные простои оборудования, характеризуется коэффициентом загрузки оборудования

$$k_{з.о} = P_p / P,$$

где P_p — расчетное число оборудования; P — принятое число единиц оборудования.

Действительный (расчетный) годовой фонд времени работы оборудования (рабочий иеделя 41 ч, в году восемь праздничных дней)

Таблица 10.5

Оборудование	Число смен	Номинальный фонд времени, ч	Потери, % номинального фонда времени	Действительный фонд времени, ч
Оборудование для приготовления модельного состава и суспензии, изготовления моделей и форм, выплавки моделей, формовки и выбивки отливок, обрубки и очистки	1 2 3	2070 4140 6210	2 4 5	2030 3975 5900
То же, особо сложные	2 3	4140 6210	9 11	3770 5525
Автоматическое оборудование и автоматические линии	2 3	4140 6210	12 14	3645 5340
Индукционные печи повышенной частоты для плавки стали, вместимостью 0,06—2,5 т	1 2 3	2070 4140 6490	4 6 12	1985 3890 5710
Печи плавильные: для медных сплавов	1 2 3	1830 3660 5490	3 4 6	1775 3510 5160
для алюминиевых и других легких сплавов	1 2 3	2070 4140 6210	3 4 6	2010 3975 5840
Печи для прокаливания форм и термообработки отливок: с непрерывным режимом работы, механизированные	3	8760	11	7800
с коротким циклом работы, немеханизированные	2 3	4140 6210	4 6	3975 5840

Примечание. Потери времени для оборудования определены, исходя из его простоев, при планово-предупредительном ремонте.

Коэффициент $k_{з.о}$ должен быть таким, чтобы обеспечивалось выполнение программы в реальных производственных условиях при отсутствии неиспользуемых производственных мощностей. Чем сложнее оборудование, тем оно менее надежно в работе, поэтому меньше должен быть $k_{з.о}$. И наоборот, чем надежнее оборудование, тем ближе $k_{з.о}$ к единице.

Примерные значения $k_{з.о}$ в зависимости от сложности используемого оборудования:

Несложное (например, установка для приготовления суспензии мод. 661, ванна выплавки моделей мод. 671)	0,9
Сложное (например, установка для приготовления модельного состава мод. 651, автомат для изготовления модельных звеньев мод. 653)	0,8
Особо сложное (например, агрегат для приготовления суспензии мод. 662А, агрегат прокаливания, заливки и охлаждения мод. 675А)	0,7

Состав работающих. Промышленно-производственный персонал цеха подразделяют на следующие категории: рабочие, инженерно-

технические работники (ИТР), счетно-конторский персонал (СКП) младший обслуживающий персонал (МОП). Рабочих подразделяют на производственных и вспомогательных. Производственными называют рабочих, непосредственно связанных с изготовлением отливок.

При укрупненных расчетах число рабочих может быть принято по данным цеха-аналога.

Ориентировочные показатели для определения числа рабочих приведены в табл. 10.6.

Таблица 10.6

Ориентировочные показатели для определения числа рабочих

Отрасль производства	Характеристика цеха		Среднесписочное число производственного персонала, чел.	Число рабочих	Выпуск на одного рабочего, т/год
	Тип производства и годовой выпуск отливок, т	Степень механизации			
Автомобилестроение	Массовое 7100	Комплексная механизация и автоматизация	796	708	10,03
Мотовелостроение	4613	То же	821	738	6,25
	Массовое 1000	Комплексная механизация	174	164	6,1
Тракторные двигатели	680	Механизация	140	126	5,39
	Массовое 4300	Комплексная механизация и автоматизация	581	525	8,19
Сельскохозяйственные	Массовое 3350	То же	391	352	9,52
Станкостроение	Разной серийности 2000	»	232	198	10,1
Производство текстильных и швейных машин	Массовое 1580	Комплексная механизация	180	161	9,81
Производство инструмента	Разной серийности 200	Механизация	45	40	5,0

Для более точного расчета нужно число производственных рабочих у оборудования (в том числе автоматического) определять на основании норм обслуживания этого оборудования, путем проектной расстановки рабочих по рабочим местам.

На ручных работах, там, где отсутствует принудительный темп работы оборудования и производительность зависит от рабочего, или там, где возможно выполнение рабочим нескольких операций либо обслуживание нескольких машин, число производственных рабочих определяют по трудоемкости этих работ (метод расчета приведен ниже).

Число вспомогательных рабочих либо определяют по рабочим местам и участкам цеха, по нормам обслуживания, либо, как при-

ведено ниже, принимают в процентном отношении к числу производственных рабочих:

Механизированно-ручное	10—15
Механизированное	15—25
Комплексно-механизированное	25—40
Автоматизированное	70—80
Комплексно-автоматизированное	90—100

Число ИТР, СКП и МОП принимают в следующем процентном отношении к общему числу рабочих: 7 — 9 % ИТР; 0,6 — 1 % СКП; 1,5 — 2 % МОП.

Расчет числа производственных рабочих по трудоемкости работ. Требуемое число производственных рабочих для выполнения программы в целом по цеху или на заданную группу операций определяют по формуле

$$C = T_{\text{общ}} / T_r,$$

где $T_{\text{общ}}$ — норма времени на изготовление отливок или на данную группу операций на годовую программу, ч; T_r — действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочих, ч (табл. 10.7),

$$T_{\text{общ}} = \sum (T_{\text{ш}} n / 60),$$

где $T_{\text{ш}}$ — норма времени на изготовление одной отливки или на выполнение данных операций на одну отливку, мин; n — число отливок на годовую программу;

$$T_{\text{ш}} = \sum t_{\text{ш}},$$

$t_{\text{ш}}$ — норма времени на выполнение отдельной операции на одну отливку, мин.

Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочих

Таблица 10.7

Продолжительность рабочей недели, ч	Номинальный годовой фонд времени, ч	Продолжительность основного отпуска, дин	Потери от номинального фонда времени, %	Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочего, ч
41	2070	15	10	1860
41	2070	18	11	1840
41	2070	24	12	1820
36	1830	24	11	1640

В условиях массового и крупносерийного производства нормы времени на отливку (штучное время) по отдельным операциям рассчитывают по формуле

$$t_{\text{ш}} = t_{\text{оп}} [1 + (a_{\text{обсл}} + a_{\text{отд}}) / 100],$$

где $t_{\text{оп}}$ — оперативное время на операцию, принимаемое по общемашиностроительным нормативам времени на работы при литье по выплавляемым моделям, мин; $a_{\text{обсл}}$ — время на обслуживание рабо-

чего места, $a_{\text{обсл}} = 4 \div 6$ % оперативного; $a_{\text{отд}}$ — время на отдых и личные надобности, $a_{\text{отд}} = 7 \div 9$ % оперативного.

Площади. При укрупненных расчетах площадь цеха определяют по показателям выпуска (съем) годных отливок с 1 м² площади в тоннах. Этот показатель тем выше, чем выше серийность и масса отливок, уровень механизации, сменность работы цеха.

Для комплексно-механизированных цехов стального литья средней и большой мощности, спроектированных с учетом требований промышленной санитарии и техники безопасности, характерны следующие показатели: съем с 1 м² общей площади цеха (без бытовых) 0,3 — 0,5 т/год; съем с 1 м² производственной площади 0,4 — 0,7 т/год.

Для некоторых существующих участков и цехов, не имеющих собственных складов, отличающихся большой скученностью и недостаточно хорошими условиями труда, показатели съема в 1,4 — 1,5 раза выше указанных.

Точно площадь всех отделений цеха определяют разработкой плана расположения оборудования (см. с. 376 — 384).

Рассчитывают площади для складов, исходя из норм запасов материалов, насыпной массы (в укладке) материала и принятой высоты хранения.

Примерные нормы запасов для среднего климатического пояса на цеховом складе (при отсутствии базисного склада завода) следующие:

Металл, поступающий со стороны	На 1 месяц
Отходы своего производства	На 10 дней
Формовочные материалы (песок, пылевидный кварц)	На 2 месяца
Жидкие компоненты суспензии	На 1 месяц
Модельный состав (или компоненты)	На 1 месяц

Ниже приведена насыпная (или в укладке) объемная масса материалов для расчета складов, т/м³:

Стальной и чугунный лом	2,5
Стальные литники	2,0
Медь в чушках	5,0
Алюминий в чушках	1,5
Песок	1,5
Кварц пылевидный	1,8
Огнеупоры	1,8
Глина кусковая	1,5
Модельный состав (компоненты)	0,4

Площади (полезные) вспомогательных помещений культурно-бытового назначения принимают из расчета 5 м² на одного работающего по списочному составу. В том числе по видам обслуживания: санитарно-гигиеническое — 3,5 м²; общественное питание — 0,78 м²; медицинское — 0,09 м²; культурно-массовое и цеховые общественные организации — 0,3 м²; местное бытовое обслуживание — 0,33 м².

Энергетика. При разработке технологической части проекта определяют установленную мощность оборудования и среднюю активную нагрузку (кВт), расход основных видов энергоносителей:

сжатого воздуха (м^3), природного или сжиженного газа (м^3), пара (т), а также воды (м^3) на производственные нужды.

Данные о расходах энергоносителей и воды на технологические нужды сводятся в ведомости по форме 10.5.

Форма 10.5

Расход _____ (вид и параметры энергоносителя, вода)

№ оборудо- вания по плану	Потребители по отде- лиям цеха	Коэффициент использова- ния оборудо- вания	Часовой расход энергии (устано- вленная мощность)		Годовой фонд времени, ч	Годовой расход энергии (средняя активная нагрузка)
			наибольший	средний		

Капитальные затраты на оборудование. На стадии разработки технологической части проекта цеха в капитальных затратах на оборудование учитывают стоимость всего производственного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования, а также дополнительные затраты, связанные с транспортированием и складированием этого оборудования, стоимостью его монтажа, стоимостью металлоконструкций и их монтажа, стоимостью инструмента, приспособлений, технологического и хозяйственного инвентаря.

Ниже приведены ориентировочные размеры капитальных затрат различных видов

Расходы на тару и упаковку оборудования	1 % стоимости оборудования
Транспортные расходы	4 % стоимости оборудования с тарой и упаковкой
Заготовительно-складские расходы	1,2 % стоимости оборудования, тары и упаковки, транспортных расходов
Расходы на комплектацию подъемно-транспортного оборудования	1 % стоимости подъемно-транспортного оборудования
Стоимость запасных частей для подъемно-транспортного оборудования	3 % стоимости подъемно-транспортного оборудования
Монтаж нового производственного и вспомогательного оборудования	5 % стоимости оборудования
Монтаж подъемно-транспортного оборудования	18 % стоимости оборудования
Монтаж металлоконструкций	40 % стоимости металлоконструкций

10.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАНИРОВКИ (ПЛАНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ)

Цех с выпуском 2000 т отливок в год (рис. 10.17). Цех, спроектированный Гипростанком для Рязанского литейного завода «Центролит», расположен в двухэтажном здании. В цехе запроектированы два производственных потока с различным оборудованием. Ос-

новное производство обеспечивает выпуск 1800 т крупных и средних серий отливок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей при их средней массе 160 г и максимальной 1,5 кг. Этот производственный процесс спроектирован на базе автоматизированного оборудования и высокой степени механизации всех процессов. Второй производственный поток организован на базе механизированного оборудования и запроектирован как экспериментально-производственное отделение на выпуск 200 т отливок из сталей различных марок, выпускаемых мелкими сериями.

Модельное отделение. Все операции по приготавлению модельной пасты выполняются автоматически на установках 1, 2, 3 (мод. 652). Модельная паста по обогреваемому трубопроводу подается к 10-позиционным автоматам 4 (мод. 653) для изготовления модельных звеньев крупносерийных отливок или к полуавтоматам 5 (мод. 654) для изготовления моделей отливок, выпускаемых мелкими сериями.

Модельные блоки собирают на движущемся конвейере 6 линии мод. 697.

Отделение изготовления оболочек. Нанесение оболочки осуществляется пятью автоматами 12 (мод. 664). Для сушки слоев оболочки служит воздушно-аммиачная камера 11 (мод. 682). После нанесения оболочки конвейер подает блоки в ванну 15 выплавки моделей (мод. 672), где выплавление происходит в горячей воде или в модельном составе. Выплавленный модельный состав (в случае выплавки в воде) стекает вместе с водой в разделитель 16 и освобожденный от воды перекачивается по обогреваемому трубопроводу в плавильный бак 3 для повторного использования. Оболочки снимают с конвейера 6 и перевешивают на подвесной конвейер 18, который передает их к местам 19 сортировки, ремонта и контроля. На установке 17, если это нужно, наносят слой оболочки на жидком стекле и сушат его. Готовые оболочки складывают на стеллажах — тележках 20.

Для хранения оболочек предусмотрен склад. Здесь находятся рабочие места 19 для сортировки, ремонта и контроля оболочек. Часть оболочек может доставляться конвейером 18 непосредственно на прокаливание и заливку, минуя склад.

Суспензию приготавливают в автоматах 9 (мод. 662). Пылевидный материал к автоматам подают пневмотранспортом. Жидкие составляющие закачивают в напорные баки 7, откуда они самотеком поступают в автоматы. На установке 10 приготавливают суспензию с жидким стеклом, которое поступает из бака 8.

Готовая суспензия скапливается в баках 14, откуда передается по шлангам к расходным бакам 13, расположенным у автоматов нанесения оболочки 12. Песок к этим автоматам подается пневмотранспортом.

Прокатно-заливочное отделение. Сталь плавят в индукционных печах 22 (ИСТ-0,16). Ковши и тигли ремонтируют на специальном участке, куда их доставляют электропогрузчиком.

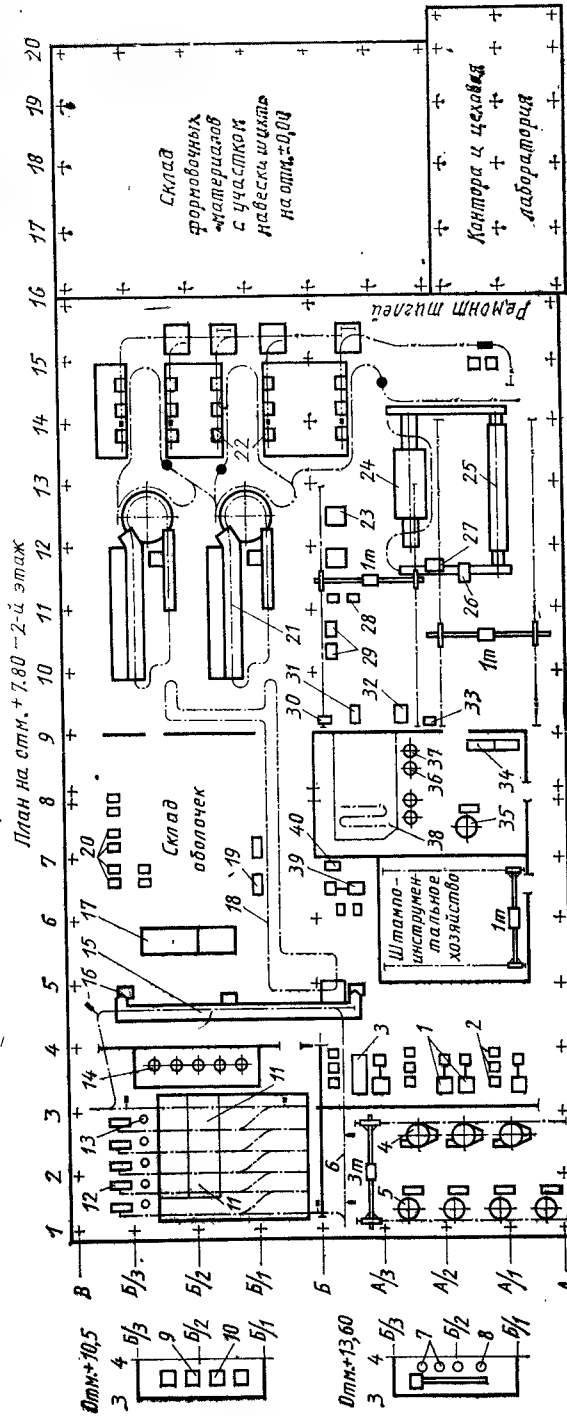
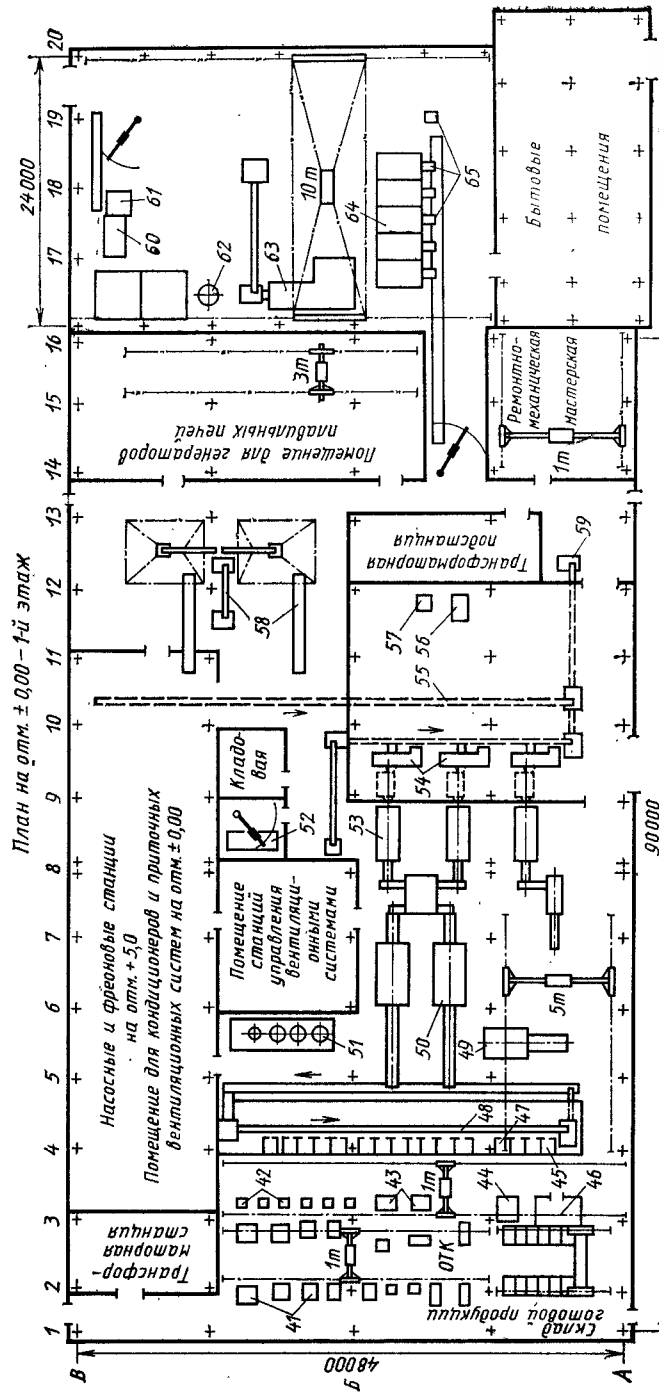


Рис. 10.17. План размещения технологического и транспортного оборудования в цехе с выпуском 2000 т в год

Оболочки устанавливают на подвески конвейера агрегата 21 обжига, заливки и охлаждения (мод. 675). На этом агрегате выполняется прокаливание оболочек в газовой печи, формовка в «кипящем слое», заливка форм металлом, вытаскивание залитых блоков из опорного материала и охлаждение отливок. После охлаждения блоки отливок сбрасывают с подвесок конвейера и они через отверстия в полу проваливаются на ленточный конвейер 55, который доставляет их на термообрубной участок.

Смесь песка с водой из-под камеры охлаждения агрегата (мод. 675) системой гидрооборки 58 направляется в общезаводскую систему регенерации песка.

Термообрубное отделение. Отбивку остатков оболочки и отделение отливок от стояка осуществляют на полуавтоматах 54 (мод. 693). Для блоков, которые невозможно обрабатывать на полуавтоматах, установлено универсальное оборудование — вибрационная установка 57 и гидравлический пресс 56 для отделения отливок от стояка (мод. 694).

Отходы системой конвейеров передаются в короба 59, которые периодически вывозят из цеха. Литники собирают в бункерах и периодически вывозят на участок подготовки и навески шихты, а отливки передают для очистки в агрегаты 53 (мод. 695). Раствор щелочи для этих агрегатов готовят в специальной установке 52, откуда перекачивают по трубам.

Очищенные и промытые отливки через промежуточные бункера вибропитателями выдаются на конвейеры газовых печей 50 для нормализации отливок в защитной среде. Для термообработки отливок из специальных сталей установлена печь 49 с выкатным подом. Защитный газ для печей вырабатывается в газогенераторах 51. После термообработки отливки подают на сортировку. Отливки движутся по ленте конвейера 48 перед сортировщиками, которые осматривают отливки и через проемы 47 забрасывают в соответствующий бункер 45. Далее отливки развозят по полуавтоматам 43 зачистки питателей, наждачным станкам 42, прессам 41.

В отделении предусмотрен пост заварки отливок 46 и дополнительная очистка в барабане 44. Принятые ОТК отливки сдают на склад.

Экспериментально-производственное отделение. Механизированное оборудование этого участка позволяет использовать различные варианты технологического процесса и проводить экспериментальные работы.

Модельную пасту готовят на установке 39, 40 (мод. 651), откуда ее по обогреваемому трубопроводу подают к карусельному столу с пресс-формами 35 (мод. 654). Сборку моделей в блоки выполняют на столах 34.

Оболочку наносят вручную окунанием в бачок 36 с суспензией и затем в бачок 37 с «кипящим слоем» песка. Сушку ведут в воздушной камере 38 конвейерного типа. Высушенные блоки тележкой подают к станку 33 для подрезки литниковой воронки и затем на выплавку в ванну 32 (мод. 671).

На столе 27 (мод. 673) оболочки формуют в опоки и затем прокалывают в толкательной печи 24 или в камерных печах 23. Опоки заливают расплавом на заливочном роликовом конвейере, охлаждают отливки в проходной камере 25 и выбивают на поворотной установке 26. Для отбивки с блоков остатков оболочки и вибрационного отделения отливок используют установку 30 (мод. 692). Отделять отливки от стояка можно также на гидравлическом прессе 31 (мод. 694). Очищают отливки в щелочных ваннах 29. Зачищают питатели на наждачных станках 28.

Склад формовочных материалов с участком взвешивания шихты. Мешки с пылевидным материалом, поступающие на склад, вскрывают в машине 61 для разрезки мешков, материал сушат в газовой печи 60 и после охлаждения и просеивания направляют в расходный бункер, откуда пневмотранспортом подают к автоматам приготвления суспензии. Для размолва кварцита установлены бегуны 62.

Обсыпной песок подают в цех с базисного заводского склада пневмотранспортом. Из расходных бункеров цехового склада также пневмотранспортом песок подают к местам потребления.

Для очистки и сушки шихты установлена барабанная печь 63.

Металлическую шихту, поступающую с базисного склада, и собственные литники подают в промежуточные бункеры 64 с вибrolотками 65. Шихту по массе набирают в бадьи, которые через специальное отверстие поднимают на площадку для обслуживания печей. К печи бадью с шихтой подают электроталью.

Цех с выпуском 1000 т отливок в год (рис. 10.18). Модельную пасту готовят на автоматической установке 12 (мод. 651), откуда по обогреваемым трубопроводам ее подают под давлением к двум автоматам 14 (мод. 653) и одному полуавтомату 13 (мод. 654), на которых изготовляют модели. На столах 15 собирают модельные блоки, которые затем конвейером 16 транспортируют к полуавтоматам 17 (конструкция НИИТАвтопром). На этих полуавтоматах наносят три или четыре слоя оболочки, которые просушивают в камере 18 (мод. 681), рассчитанной на трехчасовую воздушную сушку каждого слоя. Суспензию готовят в установках 38 (мод. 661). Пылевидный материал для суспензии сушат в печи 29. Песок подают в цех просушенным с базисного склада завода. Эстакада 30 имеет бункера для пылевидного материала и песка, откуда их соответствующими системами пневмотранспорта подают к местам потребления. В отделении подготовки формовочных материалов предусмотрены смешивающие бегуны 28.

Модели выплавляют в горячей воде в установках 36 (мод. 671). Освобожденные стояки промывают в установке 37 и возвращают к столам 15 сборки. Формуют оболочки в опоки на формовочном столе 20 (мод. 673). После этого опоки по роликовому конвейеру 21 подают к прокаточным толкательным печам 22 (мод. Т-240Д). Прокатенные формы, расположенные на роликовом конвейере 33, заливают металлом из разливочных ковшей 23. Перемещают подвески с ковшом

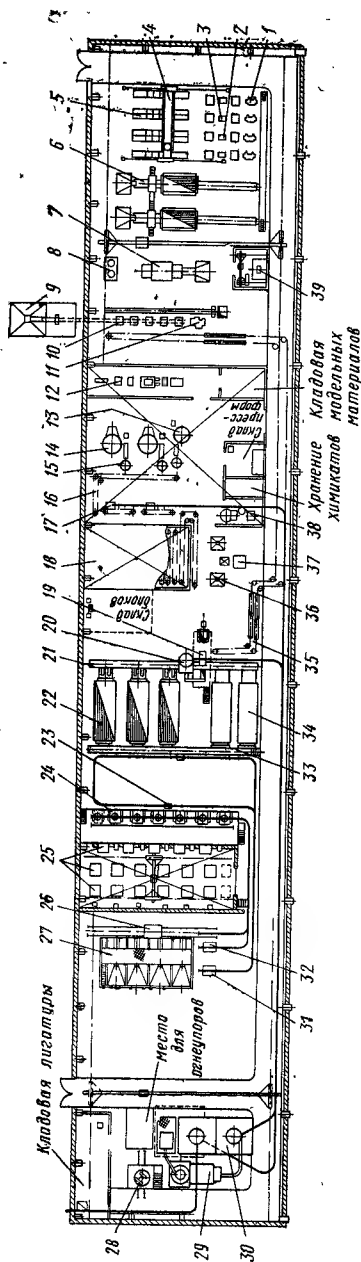


Рис. 10.18. План расположения технологического и транспортного оборудования в цехе с выпуском 1000 т в год

по бирельсу вручную, а подъем и опускание ковша осуществляется электродвигателем.

К плавильным печам 24 (мод. ИСТ-0,16) навески шихты подают от весовой тележки 26 самоходной электроталью. Бункера 27 для шихтовых материалов оборудованы электровибрационными питателями. Сушку ковшей и тиглей осуществляют на газовых стендах 31 и 32.

Опоки с залитыми формами охлаждают в конвейерных камерах 34, после чего их выбивают в поворотном устройстве 19, и затем снова направляют на формовку. Блоки отливок конвейером 35 передают к вибрационным установкам 10 (мод. 692) для отделения остатков оболочки и отливок. На этом участке установлен гидравлический пресс 11 для отделения отливок от стояков (мод. 694). Системой уборки все отходы подают в бункер 9, откуда их периодически вывозят автомашинами.

Отливки очищают в агрегате 7 (мод. 695), щелочный раствор для которого готовят в установке 39. Очищенные и промытые отливки проходят нормализацию в конвейерных печах 6 в защитной среде, которая готовится в генераторе эндогаза 8. Для выполнения отделочных операций установлены зачистные станки 1, кривошипные прессы 2 и слесарные верстаки 3 с бормашинами. На этом же участке установлены столы ОТК.

Склад готовых отливок оборудован стеллажами 5, обслуживаемыми краном-штабелером 4. Для подачи отливок на склад

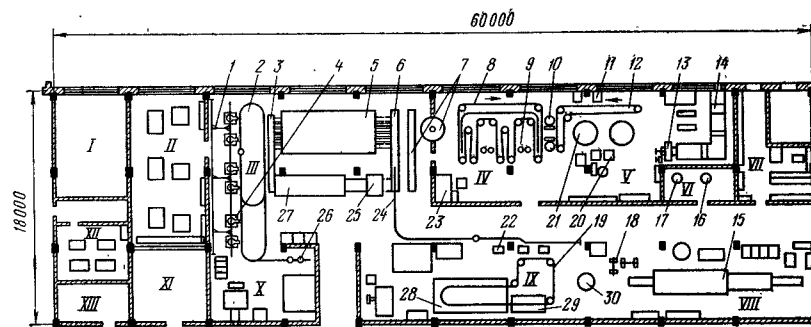


Рис. 10.19. План расположения технологического и транспортного оборудования в цехе с выпуском 500 т в год

и выдачи их со склада используют единую оборотную тару.

Вентиляционные системы и установки кондиционирования воздуха установлены на площадках над модельным отделением, камерой сушки и над помещением, где установлены генераторы, конденсаторные батареи и щиты управления 25.

Цех с выпуском 500 т отливок в год (рис. 10.19). В цехе, спроектированном в ПО ЗИЛ имеется лаборатория I, генераторная II, плавильно-заливочный участок III, участок изготовления оболочковых форм IV, участок изготовления моделей V, участок приготовления суспензии VI, склад материалов VII, участок термообработки VIII, участок очистки IX, участок приготовления формовочных материалов и сушки ковшей X, слесарная мастерская XI, помещение холодильных машин XII, помещение административной службы цеха XIII. Модели изготавливают на двух карусельных столах 21. Модельную пасту подают от рядом стоящей шприц-машины 20. Изготовленные модели укладывают на люльки подвешенного конвейера 12, используемого и как транспортное средство, и как промежуточный склад для доздания задела моделей. Модели снимают с конвейера и раскладывают на полки поворотных этажерок 10, возле которых расположены столы для сборки модельных блоков. Столы 11 предназначены для осмотра и зачистки модельных звеньев. Кондиционер 14 с вентилятором 13 поддерживает постоянную температуру и влажность в помещении (участки IV и V).

Собранные модельные блоки навешивают на подвесной конвейер 8. Рабочий у ванны с суспензией и бачка с «кипящим слоем» песка 9 снимает с правой ветви конвейера модельные блоки, наносит на них слой оболочки и вешает на прежнее место. Покрываемые первым слоем блоки обходят по ветви цепного конвейера рабочее место, высыхают за это время и приходят с левой стороны. Здесь блоки снимают с подвески конвейера, вторично на них наносят слой оболочки и вновь навешивают на конвейер. С двумя слоями оболочки блоки, двигаясь по конвейеру, сохнут и поступают на второе рабочее место, где на

Таблица 10.8

Технико-экономические показатели цехов

Показатель	Показатели цехов при годовом выпуске отливок, т		
	7100	2000	1000
Площадь цеха общая (без конторско-бытовых помещений), м ²	26 500	7144	3160
В том числе производственная	20 304	5544	2123
Общее число работающих	796	224	118
В том числе рабочих	708	198	104
Из них производственных	363	110	62
Общая установленная мощность токоприемников, кВт	12 382	4071	2120
Трудоемкость 1 т годного литья, чел.-ч	93,05	99,3	133
Выпуск литья, т/год:			
на 1 м ² общей площади	0,27	0,28	0,31
на 1 м ² производственной площади	0,35	0,36	0,46
на одного работающего	8,92	8,9	8,4
на одного рабочего	10,06	10,1	9,6
на одного производственного рабочего	19,56	18,2	16,1

них наносится третий слой, а если нужно — и четвертый. Длина ветвей и скорость конвейера обеспечивают сушку каждого слоя оболочки в течение 2,5 ч. Весь конвейер заключен в камеру.

С конвейера сушки блоки снимают и из них вынимают стояки, которые конвейером 8 возвращаются к столам сборки модельных блоков.

Модели выплавляются в горячей воде в ванне выплавки 23. Выплавленные оболочки укладывают на полки стеллажей 7, откуда их забирают для формовки. Формовку осуществляют на формовочном столе 6, имеющем бункер. В бункере с двумя затворами находится наполнитель. Под каждый затвор по роликовому конвейеру подают опоки, в которые устанавливают оболочки. Литниковые воронки оболочек закрывают колпачками и опоки заполняют песком, уплотняя его вибраторами. Заформованные опоки вводят толкателями в двухрядную газовую печь 5 для прокаливания оболочек. Из печи опоки извлекают вытаскивателем и они попадают на заливочный приводной роликовый конвейер 3.

Металл плавят в печах 4 и разливают с помощью балок 1 в ковши, передвигаемые по бирельсу 2. Подвеска обеспечивает подъем ковша от электропривода. Ковши сушат и подогревают газовыми горелками на стенде 26.

Залитые опоки поступают в камеру охлаждения 27. После охлаждения их подают на выбивку на поворотное устройство 25. По выходе опоки из поворотного устройства из нее вынимают блоки отливок и складывают в ящик.

Ящики с отливками подают самоходной электроталью по монорельсу 24 к вибрационным станкам 22 для отбивки оболочки и отделения отливок от стояка. Отливки складывают в корзины под-

весного конвейера 19, который доставляет их к ванне щелочения 28. После щелочения отливки в гидрокамере 29 промывают горячей водой, затем направляют их к зачистному полуавтомату 30 или к наждачным станкам 18 для зачистки остатков питателей.

Нормализацию отливок проводят в конвейерной печи 15 с защитной средой. Из печи отливки поступают к столам контролеров ОТК.

На участке для изготовления моделей выделено помещение для приготовления суспензии, где установлены гидролизатор 16 и механическая мешалка 17.

Следует иметь в виду, что рассмотренный цех снабжается со складов крупного литейного цеха, на площадях которого он расположен, и потому по существу не имеет собственных складов, необходимых в других случаях.

В процессе освоения и эксплуатации цеха вносили изменения в проект, направленные на увеличение выпуска превысившего 800 т отливок в год. Изменения в основном коснулись очистного отделения, где было добавлено 200 — 250 м² производственной площади, увеличено число оборудования для зачистки питателей и введен конвейер, раздающий отливки по рабочим местам.

Технико-экономические показатели нескольких цехов приведены в табл. 10.8

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ

Развитие производства. Производство отливок по выплавляемым (растворяемым, выжигаемым) моделям основно на применении различных вариантов технологического процесса, что допускает возможность выбора оборудования, основных и вспомогательных материалов в целях наиболее экономичного получения разнообразных по конфигурации, качеству и свойствам отливок.

К преимуществам этого производства относятся возможность получения сложных по конфигурации тонкостенных отливок из разнообразных сплавов (в том числе нелитейных, необрабатываемых или труднообрабатываемых резанием, прокаткой, ковкой), причем изготавливаемые отливки максимально приближаются по форме и размерам к готовым деталям; замена нескольких деталей в сборках и узлах цельнолитой деталью; сокращение трудоемкости и себестоимости изготовления деталей; уменьшение расхода металла вследствие резкого повышения коэффициента его использования (КИМ); возможность выбора рационального, экономически оправданного варианта технологического процесса при любом характере производства с учетом объема и серийности; возможность регулирования фонда заработной платы путем механизации производственных процессов и рационального использования трудовых ресурсов.

Все это служит основой для широкого распространения процесса в условиях как опытного и серийного, так и массового машиностроения и приборостроения. В зависимости от организационных, технологических условий, степени механизации на различных предприятиях, производство отливок различается по трудоемкости, себестоимости и другим технико-экономическим показателям. Отливки по качественным характеристикам и общим затратам труда и материалов на изготовление готовых деталей более выгодны по сравнению с поковками: так, при переходе на литье по выплавляемым моделям расход металла и трудоемкость механической обработки сокращаются на 30—80 %; себестоимость изготовления деталей уменьшается на 22—80 % [41].

По данным различных отраслей машиностроения, замена поковок отливками по выплавляемым моделям из высокопрочной стали повышает КИМ с 0,182 до 0,754. Только в автотракторной промышленности применение литья по выплавляемым моделям дает экономический эффект свыше 2,5 млн. руб. в год [43].

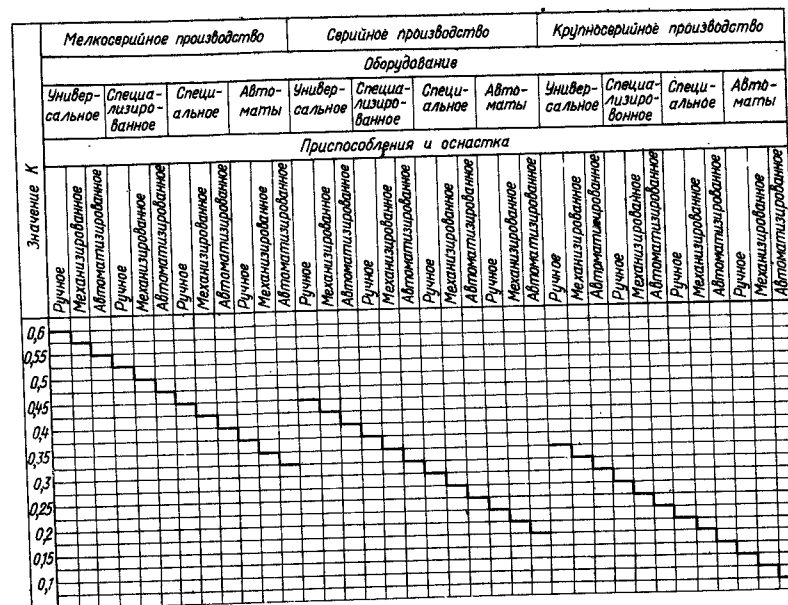


Рис. 11.1. Определение коэффициента технологии механической обработки К

Наиболее экономичен такой способ производства заготовок, при котором себестоимость их ближе всего к стоимости производства готовых деталей, а затраты на готовые детали при этом минимальные.

Себестоимость отливок при изготовлении моделей в металлических пресс-формах при малых сериях значительно выше, чем поковок, но с укрупнением серии различие в себестоимости литых деталей и кованных заготовок уменьшается. В этом случае решающее влияние на выбор способа изготовления заготовки оказывает трудоемкость и стоимость механической обработки.

По результатам анализа затрат на производство деталей массой 0,2—2 кг из различных заготовок (литых, кованных, штампованных и из проката) установлено, что суммарные затраты на изготовление детали из углеродистой и низколегированной сталей по отношению к затратам на заготовки могут быть выражены формулой

$$P_d = P_z [1 + KN / (c \sqrt{\Delta})],$$

где P_z — стоимость заготовки; K — коэффициент, выражающий уровень совершенства технологии механической обработки (рис. 11.1), при обработке на универсальных станках $K = 0,1$, при обработке на автоматах $K = 0,6$; N — число размеров, по которым детали подвергаются механической обработке; c — коэффициент использования металла, равный отношению массы готовой детали к массе заготовки; Δ — средняя точность обработки.

Главное в развитии этого способа литья, как и всего литейного производства, состоит в том, чтобы повысить эффективность его применения и качество отливок на основе научно-технического прогресса, оптимального использования производственных фондов, материальных и людских ресурсов, улучшения управленческой и плановой работы.

В планах развития литейного производства особо подчеркивается социальный аспект, характеризуемый уровнем механизации и автоматизации производственных и транспортных процессов (тяжелый ручной труд должен быть полностью механизирован); созданием оснастки высокой производительности с минимальной вибрацией и шумом; соблюдением норм в отношении чистоты и температуры воздуха в рабочем помещении; освещенности рабочих мест.

Проекты планов обосновывают инженерными и экономическими расчетами в каждом цехе по данным его паспорта. Паспорт цеха должен содержать, например, следующие данные: уровень использования производственных мощностей; коэффициент сменности оборудования; меры по специализации производства; общий организационно-технический уровень производства; технико-экономические показатели.

Паспорт цеха должен быть составлен с использованием только документированных данных не позднее, чем через 10 дней после сдачи годового отчета вышестоящей организации. При разработке планов учитывают встречные планы и результаты социалистического соревнования, что обеспечивает единство планирования и социалистического соревнования.

Большой эффект дает бригадный метод организации труда. Примечателен в этом отношении опыт литейщиков Минского тракторного завода им. В. И. Ленина, организовавших сквозные бригады. Например, в такую бригаду входят все плавильщики, работающие в разные смены. Следствием их заинтересованности в конечном результате всего коллектива являются сокращение потерь времени, рост производительности труда.

Искусство планирования и хозяйственного руководства состоит в умении выявить те конкретные звенья, где ценой минимальных затрат можно получить наибольший конечный результат, в использовании всех стимулов повышения эффективности производства [32, 115].

Плановые показатели и нормативы. В настоящее время усиливается значение натуральных показателей, определяющих потребительную стоимость, обусловленную в заданиях и договорах на поставку отливок надлежащего качества в установленные сроки.

Отклонение качества должно быть учтено в технических условиях на отливки с помощью соответствующих коэффициентов, обуславливающих повышение заинтересованности улучшения качества.

Для измерения и оценки общего объема выпуска отливок в настоящее время используют показатель нормативной чистой продукции (НЧП). Он отражает затраты живого труда в данном цехе в отличие от показателей валовой, товарной, реализуемой продукции, которые включали затраты и овеществленного труда.

НЧП — суммарная оценка затрат живого труда, при котором норматив представляет собой уровень общественно необходимых затрат живого труда на единицу продукции. Определяют этот показатель при разработке оптовой цены на основе соответствующих статей калькуляции: основной и дополнительной заработной платы, отчислений социального страхования, прибыли и чистой продукции в комплексных статьях (общезаводских и цеховых расходов, текущих затрат на содержание и эксплуатацию оборудования, расходах на подготовку производства, прочих комплексных статьях).

Особую актуальность приобретает сокращение расходов материалов и энергии, так как затраты на них составляют до 73 % себестоимости отливок. В этой связи разработка и внедрение малоотходной технологии является первоочередной проблемой.

В системе плановых показателей в качестве обобщающего измерителя работы и конечных результатов должны оставаться себестоимость продукции, уровень рентабельности производства, оптовых цен.

Трудоемкость. Применение НЧП как планового показателя дает более объективную оценку результатов работы цеха, создает благоприятные условия для снижения металлоемкости и стоимости отливок, поскольку здесь нет заинтересованности в использовании дорогих и повышающих массу отливок исходных материалов. Но эта система предполагает расчет трудоемкости изготавливаемой отливки, так как он позволяет установить лимит численности рабочих. Научно обоснованные нормы труда создают условия для равной его интенсивности и напряженности на разнородных работах.

В табл. 11.1 приведены примерные нормы времени на изготовление 1 кг отливок из углеродистой и низколегированной сталей в условиях серийного производства. Принята следующая технология: модели изготавливают из пастообразных составов на шприц-машинах; собирают их в блоки вручную: для получения отливок массой до 0,3 кг модели припаивают к стояку на один питатель массой 0,3—1 кг — на два питателя и массой >1 кг — на три питателя; оболочку формируют трехслойную на блоках моделей для отливок массой до 2 кг, четырехслойную на блоках отливок массой 2—4,5 кг и пятишестислойные для блоков отливок >4,5 кг; модели выплавляют в горячей воде; заформовывают в сухой опорной наполнитель, прокалывают формы в печи с механизированной загрузкой и выгрузкой; сталь плавят в индукционных печах типа ИСТ-0,16, заливают формы расплавом вручную с помощью ковша вместимостью до 30 кг; отбивают оболочки на вибрационном станке, окончательно очищают отливки в щелочной ванне и отрезают их от литниковой системы вулканизовыми дисками.

По сложности отливки рекомендуется делить на следующие группы.

I группа — простые отливки, компактные, имеющие прямолинейные поверхности с незначительными выступами (Ia) и несложные отливки с выступами, углублениями и отверстиями большого диаметра (Iб).

Таблица 11.1

Примерные нормы времени на изготовление 1 кг годных отливок, мин

Масса, кг		Группа сложности отливок				
детали	отливки	I	II	III	IV	V
0,013	0,02	36,0	40,0	45,0	52,9	63,0
0,034	0,05	25,6	30,6	34,0	39,5	48,0
0,070	0,10	19,6	23,4	26,4	31,2	37,4
0,142	0,20	16,4	18,5	22,0	25,2	30,8
0,220	0,30	15,0	16,2	18,8	20,8	27,2
0,300	0,40	13,3	15,0	17,6	19,5	24,2
0,455	0,60	12,0	13,0	15,4	17,4	20,8
0,800	1,00	10,5	11,4	13,1	14,6	17,8
1,150	1,40	9,8	10,6	11,6	13,4	17,4
1,510	1,80	8,8	9,5	10,2	11,8	15,4
2,050	2,40	8,4	9,0	9,5	11,8	13,8
3,120	3,60	7,8	8,4	8,9	10,3	12,8
3,930	4,50	7,4	8,0	8,5	9,7	12,2
4,860	5,50	7,0	7,6	8,0	9,35	11,7
5,810	6,50	6,7	7,4	7,7	8,95	11,3
6,750	7,50	6,5	7,05	7,5	8,65	10,4
8,100	9,00	6,2	6,7	7,2	8,25	9,88
9,000	10,00	6,0	6,54	7,0	8,0	9,8

Примечание. Нормы времени следует принимать с коэффициентами в зависимости от вида производства: 1,25 при мелкосерийном; 0,75 при крупносерийном и массовом, комплексно-механизированном; 0,7 при автоматизированном массовом. Следует также учитывать сложность приготовления литейного сплава, так коэффициент 2,5 рекомендуется при использовании высоколегированных (типа коррозионно-стойких и подобных им) сталей открытой плавки; 4,5 при использовании жаропрочных сплавов вакуумной плавки; 2,25 при использовании алюминиевых сплавов.

II группа — отливки средней сложности, состоящие из сочетаний криволинейных и прямолинейных плоскостей с отверстиями и ребрами, а также отливки простые по геометрии, но токоустойчивые с развитой поверхностью.

III группа — сложные отливки, представляющие собой сочетание криволинейных и прямолинейных поверхностей с выступами и углублениями, с внутренними полостями.

IV группа — особо сложные отливки, с большим числом выступов, углублений, отверстий, тонких стенок, ребер, а также отливки, представляющие собой сочетание различных фигур, расположенных в разных плоскостях.

В табл. 11.2 приведены данные о трудоемкости основных операций на пяти заводах с серийным производством. Из этих данных видно, что наибольшие трудовые затраты приходится на изготовление и сборку моделей в блоки.

Выход годных отливок и расход основных материалов. Выход годных отливок — это отношение массы годных отливок к массе металлической шихты. Зная выход годного (%), определяют расход металла — основного материала. К основным относят те материалы, из которых состоит отливка. Выход годного тем выше, чем проще от-

Таблица 11.2

Трудоемкость операций, % общей трудоемкости

Основная операция	Заводы					Расчетная трудоемкость при средней массе отливки 100 г
	А	Б	В	Г	Д	
Изготовление моделей	38—41	40—42	27—35	25,2	26	32
Сборка моделей в блоки	8,3—11,8	2,8—3,5	9—12	12	10,4	7
Изготовление оболочки формы	8,2—9,9	12—14	8—11	9,5	12,5	9
Формовка и прокаливание форм	8,2—9,9	20—21	11—12	6,5	22	12
Плавка и заливка металла	3,4—5,6		10—11	12,8		8
Выбивка	3,2—9,9		4,5	4		1
Отрезка литниковой системы	8,3—11	21—24	8,2	30	29,1	9
Очистка отливок, исправление дефектов, термобработка	8,4—7,8		12,0			22

ливка по конфигурации и больше ее масса, выше квалификация работающих в цехе, а также и ниже требования, предъявляемые к качеству отливок. На рис. 11.2 приведена зависимость выхода годного для углеродистой стали от сложности отливок. С повышением выхода годных отливок сокращается расход металла, модельных и формовочных материалов, электрической энергии, снижается себестоимость отливок, повышается эффективность использования оборудования и производительность труда. При этом снижаются неизбежные потери металла на угар его при плавке. Чем выше выход годных отливок, тем выше КИМ и КИМО.

Данные о выходе годных отливок служат основанием для расчета расхода металла на единицу отливок. Методы расчета норм расхода металла, КИМ и КИМО приведены в гл. 7.

Расход вспомогательных материалов. К вспомогательным относят те материалы, которые не составляют массу отливок, но необходимы в процессе их изготовления. Модельные и оболочковые материалы — главные из них, так как они составляют 15—18 % себестоимости отливок.

Расход модельных материалов увеличивается со снижением выхода годных отливок, так как возрастают доля ЛПС, количество забракованных отливок и технологические потери оболочек форм. Например, расход модельного состава Р-3 на одну тонну годных отливок, в случае выплавки его из оболочек горячей водой, составляет 68—114 кг при выходе годного 50 % и 86—142 кг при выходе годного 40 %. В гл. 10 приведен метод расчета необходимого коли-

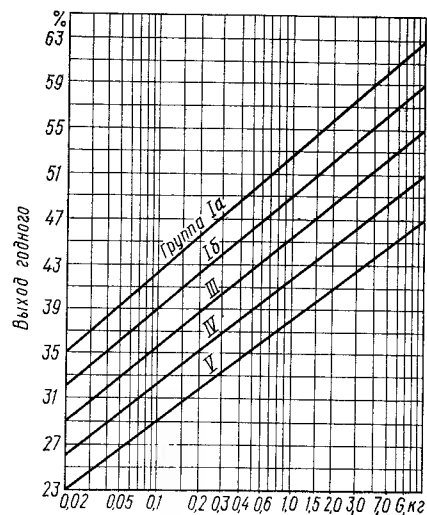


Рис. 11.2. Выход годных отливок в зависимости от их массы G и сложности

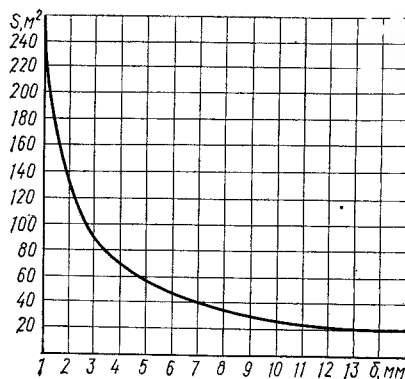


Рис. 11.3. Изменение площади S поверхности 1 т отливок в зависимости от толщины стенок δ

чества модельного состава для массового комплексно-механизированного производства автомобильных отливок.

Расход материалов для изготовления оболочек форм увеличивается с увеличением площади поверхности 1 т отливок (рис. 11.3), т. е. чем они более сложны и тонкостенны, а также чем меньше выход годного.

Площадь поверхности отливки (m^2) рассчитывают по формуле

$$S = 2M/(\rho\delta) + 4\delta\sqrt{M/\rho\delta},$$

где M — масса отливки, кг; ρ — плотность сплава при 20°C , кг/м^3 ; δ — толщина стенки отливки, м, или определяет по графику, показанному на рис. 11.3.

Пример расчета. Расход суспензии (средний) на 1 m^2 отливок и ЛПС с учетом потерь ее 15 % составляет 6,5—7 кг/м^2 . Состав суспензии: 26—28 % связующего ЭТС 40 (орг-1 или орг-2), 72—74 % пылевидного кварца кристаллического. Расход обсыпного материала (по массе) примерно такой же, как суспензии.

Определяем среднюю толщину стенок отливок. Примем, что толщина их $\delta = 4 \div 5$ мм, тогда по рис. 11.3 площадь поверхности 1 т отливок $S = 60 m^2$. К этой площади надо прибавить площадь ЛПС. Площадь ЛПС со стояком диаметром 40 мм находим по табл. 11.3; при выходе годного 50 % она составляет $\sim 14 m^2$ на 1 т отливок. Тогда суммарная площадь поверхности отливок и ЛПС при выходе годного 50 % будет

$$60 + 14 = 74 m^2/t.$$

Расход суспензии на 1 т отливок

$$6,5 \cdot 74 = 481 \text{ кг/т},$$

в том числе связующего ЭТС (на 1 т отливок)

$$481 \cdot 36/100 \approx 173 \text{ кг/т}.$$

Таблица 11.3

Масса и площадь поверхности ЛПС со стояком круглого сечения

Размеры, мм, элементов ЛПС				Число отливок	Масса, ЛПС, кг	Площадь поверхности ЛПС		
Стояк		Воронка				см²	м² на 1 т отливок, при выходе годных отливок, %	
диаметр	высота	диаметр вверху	высота				50	40
28	280	50	40	20	1,862	345,5	19,45	29,4
32	300	60	50	30	2,75	449,0	17,2	25,8
40	300	60	50	30	3,918	533,5	14,16	21,49

Норма расхода ЭТС 40 при содержании в связующем 16 % двуокиси кремния $173 \cdot 16/40 = 69 \text{ кг/т отливок}$.

Расход электроэнергии (примерный) на технологические нужды приведен в табл. 11.4. Расход установлен для плавки в индукционных печах с кислой и основной футеровкой, для нормализации термообработки отливок и прокаливания форм в методических печах.

Таблица 11.4

Расход электроэнергии

Операция технологического процесса	Расход, кВт·ч, на 1 т	
	шихты	годных отливок
Плавка стали:		
углеродистой	580	—
коррозионно-стойкой	630	—
Нормализация отливок из стали:		
углеродистой	—	1100
коррозионно-стойкой	—	1800
Прокаливание оболочковых форм (в опорном наполнителе)	—	1860
Сушка материалов	—	450

Известны следующие способы снижения расхода электроэнергии: подогрев шихты газовыми горелками перед плавкой, прокаливание оболочковых форм в газовых печах вместо электрических; применение материала основы оболочки с малым термическим расширением, например порошков непрозрачного кварцевого стекла.

Себестоимость. В качестве обобщающего измерителя работы и конечных результатов в настоящее время выступает себестоимость отливок.

Себестоимость прямо связана с трудоемкостью, которая тем выше, чем меньше масса отливок и чем они сложнее. С увеличением объема производства и степени механизации технологического процесса трудоемкость и себестоимость изготовления отливок уменьшаются,

однако соотношения между себестоимостью (руб.) и трудоемкостью непостоянны, так как различны и темпы их изменений.

Себестоимость включает заработную плату основных рабочих, приходящуюся на 1 т отливок, стоимость потребляемых материалов и электроэнергии, расходы на оснастку (по статье специальные расходы), цеховые расходы и потери от брака.

Для улучшения и облегчения контроля за выполнением нормативов по расходу материалов и электроэнергии и применения в отрасли норматива чистой продукции, целесообразно использовать структуру себестоимости, показанную в табл. 11.5, выделив лимит (в процентах) на оплату вспомогательных материалов и электроэнергии в отдельные статьи.

Таблица 11.5

Типовая калькуляция себестоимости, руб., на 1 т отливок из углеродистой и низколегированной стали

Статья	Лимит, % себестоимости	Отливки			
		простые	средней сложности	сложные	особо сложные
Основные материалы	6	45,2	51,0	62,1	69,0
Вспомогательные материалы	20	151,0	170,0	207,0	230,0
Заработная плата основных рабочих	15	113,8	127,5	155,25	172,5
Заработная плата вспомогательных рабочих	15	113,0	127,5	155,25	172,5
Отчисления на социальное страхование	2	15,1	17,0	20,7	23,0
Электроэнергия	16	120,5	136,0	165,6	184,0
Специальные расходы	5	34,0	42,5	51,75	57,5
Цеховые расходы	19	144,3	161,5	196,65	218,5
Потери от брака	2	15,1	17,0	20,7	23,0
Себестоимость	100	755,0	850,0	1035,0	1150,0

Себестоимость, рассчитанная по табл. 11.5, соответствует действительности только при условии, что затраты на материалы, электроэнергию и по другим статьям калькуляции, кроме оплаты живого труда, постоянно составляют одинаковую часть себестоимости. Из этого следует, что снижение себестоимости отливок — конечную цель производства — надо искать в совершенствовании технологии и организации производства.

Специальные расходы. К специальным расходам относят стоимость изготовления и доводки пресс-форм, металлических стоек-каркасов и подобной оснастки. С уменьшением серии отливок расходы на изготовление пресс-формы, отнесение на одну отливку, возрастают как по абсолютному значению, так и в процентах по отношению к общим затратам на ее изготовление. С укрупнением серии отливок экономичней использовать более совершенную оснастку, хотя и дорогую (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Трудоемкость изготовления различных пресс-форм, мин

Серия выпускаемых отливок, шт.	Пресс-форма	Трудоемкость изготовления пресс-формы, мин	Затраты времени на одну модель, мин	Продолжительность изготовления одной модели, мин	Суммарная трудоемкость на одну модель, мин
500	Одногнездная из легкоплавкого сплава	4 800	9,6	2	11,6
5 000	Шестигнездная из легкоплавкого сплава	10 800	2,17	2	2,5
100 000	Шестигнездная из стали	21 000	0,21	0,75	0,34

Примечание. Способ удаления моделей — выплавление.

Пример влияния механизации технологического процесса на трудоемкость изготовления и себестоимость отливок приведен в табл. 11.7.

Таблица 11.7

Примерная трудоемкость изготовления 1 кг отливок

Отливки	Процесс изготовления отливок	Трудоемкость, чел.-ч
Средней сложности массой до 1,6 кг из стали:	Механизированный	0,5
	Ручной	1,2
	»	3,0
	»	4,2
Сложные массой до 1,6 кг из стали:	Механизированный	0,55
	Ручной	1,5
	»	6,6
	»	

При механизированном процессе изготовления отливок степень их сложности не оказывает существенного влияния на затраты труда, тогда как при ручном изготовлении сложных отливок эти затраты на 1 кг отливок значительны.

Цеховые расходы после выделения из них заработной платы вспомогательных рабочих и ИТР, стоимости вспомогательных материалов и электроэнергии составляют почти пятую часть себестоимости отливок. Оставшиеся в их составе затраты на обслуживание бытовых помещений, транспортные расходы, амортизацию зданий и инвентаря, выплату за услуги других цехов, за простой и другие в значительной мере зависят от организации хозяйственной деятельности и могут быть сокращены до 12—15 % вместо 19 %, предусмотренных

в проекте типовой калькуляции (см. табл. 11.5). Следует отметить, что такое сокращение является нормой на многих заводах. Вопрос о сокращении потерь от брака в связи с задачей повышения качества отливок и эффективности производства имеет не только экономическое, но и социальное значение.

Расчет экономической эффективности от внедрения новой техники выполняют, сравнивая исходные показатели по себестоимости и затратам внедрения, с последующим умножением результатов сравнения на годовой объем производства по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_c + EK_c) - (C_n + EK_n)] A_n,$$

где C_c и C_n — себестоимости единицы отливок до внедрения новой техники и после внедрения, руб.; K_c и K_n — удельные капитальные затраты на единицу до внедрения новой техники и после внедрения, руб.; E — нормативный коэффициент, $E = 0,15$; A_n — объем производства отливок в год после внедрения новой техники, т (или в других единицах).

Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в годах определяют как отношение разности удельных капитальных затрат к разности себестоимостей по формуле

$$T_{ок} = (K_n - K_c) / (C_c - C_n).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопян В. А., Степанов Ю. А. Точность отливок по выжигаемым пенополистироловым моделям. — Литейное производство, 1980, № 7, с. 23—25.
2. Алексеевская Е. К., Лобузова Р. И. Усовершенствование процесса приготовления смесей для керамических форм. — В кн.: Специальные способы литья. Л.: Машиностроение, 1971, с. 92—97.
3. Андреев Н. М., Рассказов В. Д., Степанов Ю. И. Регенерация непрозрачного кварцевого стекла. — Литейное производство, 1971, № 2, с. 34.
4. Антииспарители при литье по выплавляемым моделям/Г. М. Зарецкая, В. Н. Иванов, Г. В. Яковлева и др. — Литейное производство, 1973, № 5, с. 1—2.
5. Антипенко В. Ф., Комотов В. С., Сокол И. Б. Состояние технологии и перспективы развития точного литья по пенополистироловым моделям. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 6—9.
6. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. Ч. I. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки. — М.: Машиностроение, 1976. 328 с.
7. Батурии В. К., Мишури С. С. Технологические особенности и механизация производства в цехе литья по выплавляемым моделям Алтайского моторного завода. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 9—12.
8. Беляев С. М., Гуляев Б. Б. Допуски на размеры отливок по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1971, № 12, с. 8—11.
9. Борисов Г. П., Костяков В. Н., Горещкий И. Е. Автоматизация и механизация процессов в литье. Киев: Наукова думка, 1970.
10. Борщ А. Н., Берицкий Ф. И., Глотов Е. Б. Факторы, влияющие на точность отливок, получаемых по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1979, № 4, с. 21—24.
11. Будников П. П., Гинслинг А. М. Реакции в смесях твердых веществ. — М.: Стройиздат, 1971. 486 с.
12. Гаврилов Р. Нормативная чистая продукция в системе экономических показателей НЧП. — Вопросы экономики, № 12, 1979, с. 12—14.
13. Гидролиз этилсиликата без органических растворителей/В. Б. Соболев, В. Г. Фирсов, В. Э. Бредис и др. — Литейное производство, 1978, № 10, с. 18—19.
14. Гольдман А. В., Каримов А. Ш., Уткин Ю. Ф. Вибрационный сепаратор кварцевого песка. — Литейное производство, 1971, № 2, с. 34.
15. Горюхин А. С., Челушкин А. С. Стержневые материалы для точных отливок. Литейное производство, 1975, № 6, с. 18—19.
16. Гришин В. М., Бибииков А. М. Опыт производства крупногабаритного литья по выплавляемым моделям из жаропрочных сплавов вакуумной выплавки. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1975, с. 98—109.
17. Гуляев А. П., Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
18. Дранье Ж. М. Успехи в развитии направлению закристаллизованных и эвтектических жаропрочных сплавов. — В кн.: Жаропрочные сплавы для газовых турбин: Пер. с англ./Под ред. Р. Е. Шалина. М.: Металлургия, 1981, с. 365—387.
19. Дудоров Н. С., Баскаков А. П., Исламов С. Р. Прокаливание и заливка форм в установке кипящего слоя при литье по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1975, № 4, с. 32—33.

20. Золотой А. Л., Коионов В. М., Шемякина А. С. Температурно-временные факторы литья по выплавляемым моделям на механизированных поточных линиях. — Литейное производство, 1977, № 2, с. 24.
21. Зыков Ю. Народно-хозяйственный социально-экономический эффект новой техники. — Вопросы экономики, 1979, № 12, с. 24—35.
22. Иванов В. Н. Состояние и перспективы развития массового производства отливок по выплавляемым моделям. — Литейное производство, № 5, 1977, с. 18—21.
23. Иванов В. Н., Бубнова Л. В. Влияние температуры оболочковой формы на качество металла отливок при литье по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1980, № 3, с. 19—21.
24. Иванов В. Н., Чулкова А. Д., Бородачев С. А. Снижение времени прокаливания форм из кристаллического кварца. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 64—71.
25. Иванова Л. А., Каркин В. И., Оболенцев Ф. Д. Улучшение качества поверхности отливок при литье в керамические формы. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 90—92.
26. Изготовление матриц пресс-форм плазменным напылением/А. М. Дмитриевич, И. З. Логинов, И. В. Робинсон и др. — Литейное производство, 1972, № 9, с. 7—9.
27. Использование кремнезема для изготовления форм по выплавляемым моделям/А. Д. Чулкова, Н. А. Шабанова, Ю. И. Растегин и др. — Литейное производство, 1981, № 11, с. 16—18.
28. Казениов С. А. О единой системе построения допусков на размеры и массу отливок. — Литейное производство, 1971, № 5, с. 44—46.
29. Казениов С. А. Допуски на размеры отливок. — Литейное производство, 1972, № 5, с. 46.
30. Калинин В. П., Кузьмин В. А., Павликов Н. Н. Регенерация шлифзерна и микропорошков электрокорунда из отработанных литейных форм. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 136—142.
31. Каталог. Технологическое оборудование для литейного производства. М.: НИИМАШ, 1982. 55 с.
32. Клебанер В. Я. Прогресс науки об экономике литейного производства. — Литейное производство, 1980, № 1, с. 33—34.
33. Козлов Г. Я., Карепин Л. П., Апилинский В. В. Повышение прочности керамических стержней пропиткой эпоксидной смолой. — Литейное производство, 1977, № 3, с. 16.
34. Контроль и методы исследования процесса получения оболочковых форм при литье по выплавляемым моделям/В. Н. Иванов, Ю. Б. Булетов, А. Д. Чулкова и др. — Литейное производство, 1976, № 9, с. 25—28.
35. Корецкий В. А., Покачалов И. М. Разработка технологических карт для литья по выплавляемым моделям на ЭВМ «Минск-32». — Литейное производство, 1978, № 9, с. 36.
36. Курчман Б. С. Сплавы для литья по выплавляемым моделям. — В кн.: Перспективы развития производства литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1975, с. 142—149.
37. Кэй Дж., Леби Т. Таблицы физических и химических постоянных: Пер. с англ. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1962. 335 с.
38. Лакеев А. С., Борисов Г. П. Основы реологии модельных материалов для литья по выплавляемым моделям. — Киев: Наукова думка, 1971. 182 с.
39. Лакеев А. С., Марченко В. Е. Изготовление разупрочняемых оболочек для литья по выплавляемым моделям сплавов алюминия. — В кн.: Перспективы развития производства литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1975, с. 118—123.
40. Ланда М. М., Портной Я. И. Спекаемые керамические стержни для литья пустотелых лопаток газотурбинных двигателей. — Литейное производство, 1973, № 2, с. 9—11.
41. Литье по выплавляемым моделям. Инженерная монография/Под ред. Я. И. Шкленника и В. А. Озерова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 436 с.

42. Лучко С. Т., Сыч Б. И., Коваленко Б. П. Получение отливок в шамотовых электрофоретических формах без опорного наполнителя. — Литейное производство, 1981, № 2, с. 18—20.
43. Матвеев Н. А., Рукшии В. М. Прогресс литейного производства в массовых отраслях машиностроения. — Литейное производство, 1978, № 4, с. 4—6.
44. Матвеев Н. А., Выгодский И. А. Технический прогресс литейного производства в автомобилестроении СССР. — Литейное производство, № 11, 1977, с. 12.
45. Матусевич И. С. Получение основных солей хрома для высокоогнеупорных связующих. — Литейное производство, 1972, № 3, с. 12.
46. МВС — прочный воскообразный модельный состав для литья по выплавляемым моделям/И. Г. Анисимов, А. В. Мелихова, Т. М. Вязун и др. — Литейное производство, 1980, № 8, с. 16—17.
47. Медников Ю. П., Трунина Л. В., Перевощиков Э. П. Прокаливание керамических форм в газовых печах. — Литейное производство, 1976, № 10, с. 27—28.
48. Методы контроля и исследования процесса литья по выплавляемым моделям. Исходные данные для разработки проектного задания на лабораторию, обслуживающую цехи литья по выплавляемым моделям/И. Б. Сокол, Л. А. Житкова, М. И. Иванова и др. М.: НИИТавтопром, 1968. 100 с.
49. Муркина А. С., Озеров В. А., Шприц Б. Б. Применение низкоконцентрированных этилсиликатных связующих растворов в производстве форм по выплавляемым моделям. — В кн.: Прогрессивные процессы и материалы в литейном производстве. Ярославль: Ярославский политехнический институт, 1979, с. 86—87.
50. Неразрушающий контроль качества отливок автомобильных двигателей/Е. С. Иванушкин, А. П. Шабанов, И. Ф. Болтенков и др. — Литейное производство, 1979, № 4, с. 23—24.
51. Новое в литье по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1977, № 3, с. 36—37.
52. Озеров В. А., Гараини В. Ф., Шприц Б. Б. Повышение качества и эффективности литья алюминиевых сплавов по выплавляемым моделям. — В кн.: Повышение технического уровня литейного производства машиностроительных предприятий Сибири и Дальнего Востока. Часть II. М.: ЦП НТО Машпрома, 1982, с. 104—106.
53. Озеров В. А., Муркина А. С., Казачкова М. А. Исследования процессов, протекающих при сушке и прокаливании в системе фосфаты—кремнезем. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 50—54.
54. Озеров В. А., Мусияченко Л. П., Черепанов Н. Х. Модельные составы, применяемые при литье по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1978, № 4, с. 33—35.
55. Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А. Литье по моделям из пенополистирола. М.: Машиностроение, 1970. 181 с.
56. О неопределяемых допусках (дискуссия). — Стандарты и качество, 1971, № 7, с. 12—14.
57. Опыт внедрения связующего ЗИЛ ЭФ/А. Д. Чулкова, М. Г. Паршикова, С. И. Переборщиков и др. — Литейное производство, 1977, № 4, с. 20—22.
58. О свойствах электрокорундового покрытия для литья по выплавляемым моделям/В. В. Апилинский, А. К. Машков, Г. Я. Козлов и др. — Литейное производство, 1971, № 5, с. 40.
59. Основы проектирования литейных цехов и заводов: Учебник для вузов/Под ред. Б. В. Кворре. 2-е изд. перераб. М.: Машиностроение, 1979. 376 с.
60. Очистка алюминиевых отливок от остатков оболочки в расплаве щелочи/В. К. Доценко, В. А. Марченко, Ю. В. Польгуев и др. — Литейное производство, 1979, № 4, с. 26—27.
61. Очистка точных стальных отливок от керамики в щелочных расплавах/О. Г. Зарубицкий, В. М. Белецкий, В. М. Степанов и др. — Литейное производство, 1978, № 6, с. 33.
62. Оценка водных этилсиликатных связующих для оболочковых форм по выплавляемым моделям/Л. В. Клинова, З. П. Калашникова, В. С. Осипчик и др. — Литейное производство, 1980, № 6, с. 15—17.
63. Перевощиков Э. П., Баженова Н. Е. Прокаливание керамических форм с заменой электрического нагрева на газовый. — Литейное производство, 1980, № 6, с. 18—19.

64. Петриченко В. Н., Мартянов Ю. И. 60 лет СССР и технический прогресс литейного производства. — Литейное производство, 1982, № 12, с. 1—2.

65. Пявинский Ю. Е., Ромашин А. Г. Кварцевая керамика. — М.: Металлургия, 1974. 246 с.

66. Повышение качества точных отливок из сплава ХН50МБВЮ/О. В. Китаев, Р. Б. Лобжанидзе, Б. В. Куборский и др. — Литейное производство, 1972, № 12, с. 29.

67. Попов Р. В., Фролов В. С., Калинин В. П. Цирконовые стержни для производства тонкостенных отливок повышенной точности. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 86—90.

68. Полуавтоматы воздушного и поршневого действия для формирования керамических стержней из пластических смесей/Р. Б. Козодеев, М. И. Ланда, С. С. Шпиндлер и др. — Литейное производство, 1978, № 12, с. 20—21.

69. Потинский Л. Е., Филатова М. А. Изготовление рабочих колес газотурбинного наддува дизеля. — Литейное производство, 1975, № 6, с. 38.

70. Проектирование литейных цехов и заводов: Справочник/Под ред. В. М. Шестопаля. М.: Машиностроение, 1974. Т. 2. 294 с.

71. Рассказов В. Д., Андреев Н. М. Плавленный кварц в точном литье. — Литейное производство, 1971, № 2, с. 39.

72. Расчет продолжительности сушки форм при литье по выплавляемым моделям/В. Э. Бредис, Г. А. Шапов, В. Г. Фирсов и др. — Литейное производство, 1976, № 8, с. 31—33.

73. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур, М.: Наука, 1966. 370 с.

74. Рошан Н. Р. Модельные композиции, централизованно выпускаемые заводами СССР. — Литейное производство, 1982, № 5, с. 36—37.

75. Рубцов Н. Н. История литейного производства в СССР. М.: Машгиз, 1947. 276 с.

76. Рыжиков И. В. Электрофорез в литейном производстве. Изготовление оболочковых форм по выплавляемым моделям. Харьков: Вища школа, 1979. 159 с.

77. Савицкас Р. У., Матусевич И. С. Получение кварцевой керамики с регулируемым режимом твердения. — Стекло и керамика, 1980, № 4, с. 21—22.

78. Семененко А. А. Новое в производстве литья по выплавляемым моделям. — В кн.: Специальные способы литья/Под ред. Б. Б. Гуляева, А. М. Линниченко, Ф. Д. Оболенцева. Л.: Машиностроение, 1971, с. 219—224.

79. Современные материалы в автомобилестроении: Справочник. М.: Машиностроение, 1977. 271 с.

80. Сокол И. Б., Трушин А. С. Технологический процесс и комплекс автоматизированного оборудования для массового производства точных отливок по выжигаемым моделям. — Технология автомобилестроения, 1977, № 3, с. 1—9.

81. Сокол И. Б. Автоматизированное производство отливок по выжигаемым моделям. — Литейное производство, 1978, № 3, с. 33—34.

82. Соболевский М. В., К्लещевникова С. И., Дубровская Г. И. Связующее для керамических оболочек на основе этилсиликата 32, 40 и 50. — Литейное производство, 1971, № 9, с. 23—24.

83. Состав растворов, полученных при гидролизе ЭТС-32, ЭТС-40 и ЭТС-50/М. В. Соболевский и др. — Литейное производство, 1974, № 9, с. 27—29.

84. Спектаемые керамические стержни для пустотелых лопаток газотурбинных двигателей/М. И. Ланда, С. С. Шпиндлер, Я. И. Портной и др. — Литейное производство, 1976, № 7, с. 16—18.

85. Танкелевич Б. Ш., Демидова А. А. Удаление модельной массы при прокаливании оболочковых форм. — Литейное производство, 1974, № 6, с. 34—36.

86. Танкелевич Б. Ш., Аксенов А. Т., Анисимов И. Г. Влияние углеродного состава модельных материалов на качество прокаленных керамических форм. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 40—41.

87. Телис М. Я., Степанов В. М., Курчман Б. С. Пути повышения качества и эффективности выплавки сталей и сплавов при литье по выплавляемым моделям. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 93—97.

88. Теплопроводность оболочковых форм, получаемых по выплавляемым моделям/С. С. Шпиндлер, М. И. Ланда, Н. М. Цирельман и др. — Литейное производство, 1978, № 3, с. 26—27.

89. Термомеханические свойства дистен-силлиманитовых керамических стержней с этилсиликатным связующим/М. И. Ланда, С. С. Шпиндлер, Н. Н. Копытов и др. — Литейное производство, 1978, № 8, с. 26—27.

90. Технология литья лопаток газотурбинных двигателей по методу направленной кристаллизации/В. А. Чумаков, В. М. Степанов, Б. Г. Иваиов и др. — Литейное производство, 1978, № 1, с. 23—24.

91. Тимофеев Г. И., Данилин В. П., Щелкунов С. О. Факторы плотности отливок из стали 45Л по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1976, № 9, с. 28.

92. Тимофеев Г. И., Евстигнеев А. И. Использование отработанной смеси при изготовлении форм по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1980, № 3, с. 21—22.

93. Уразбаев Б. К., Лаптев В. Г. Литниково-питающие системы для отливок арматуры из стали 10Х18Н9ТЛ по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1980, № 4, с. 15—17.

94. Установка для исследования термомеханических свойств оболочковых форм/С. С. Шпиндлер, М. И. Ланда, Н. Н. Копытов и др. — Литейное производство, 1977, № 2, с. 25—26.

95. Фирсов В. Г., Соболев В. В., Бредис В. А. Повышение прочностных свойств этилсиликатных связующих. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 27—33.

96. Фишман И. Р., Верник А. Б., Каменский Л. А. Использование отходов электрохимической очистки отливок. — Литейное производство, 1970, № 12, с. 14—16.

97. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1974. 351 с.

98. Фролов М. М. Расчет питающего стояка отливок по выплавляемым моделям — Литейное производство, 1977, № 10, с. 24.

99. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1969. 752 с.

100. Хромотографический анализ этилсиликата и его гидролизированных растворов/Л. И. Богданович, Л. А. Житкова, К. С. Старикова и др. — Литейное производство, 1976, № 12, с. 24—26.

101. Чубарин В. А., Копцов Л. М. Сборная литниковая система при литье по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1975, № 4, с. 43—44.

102. Чубарин В. А. Расчет питателей отливок магнитов. — Литейное производство, 1976, № 1, с. 40.

103. Чулкова А. Д., Иванов В. Н. Совершенствование изготовления керамических форм. — Литейное производство, 1973, № 12, с. 15—18.

104. Чулкова А. Д., Иванов В. Н. Разделение выплавляющей среды и модельной композиции. — Литейное производство, 1974, № 4, с. 37—38.

105. Шкленник Л. Я., Медведев Я. И. Газопроницаемость и прочность оболочек по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1978, № 2, с. 21—22.

106. Шкленник Л. Я. Непрозрачное кварцевое стекло для оболочек при литье по выплавляемым моделям. — В кн.: Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1981, с. 33—35.

107. Шкленник Л. Я. Тенденция совершенствования технологии литья по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1976, № 2, с. 2—5.

108. Шкленник Л. Я. Техникологические основы литейного производства. Расчет и конструирование литниково-питающих систем: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. М.: МИСиС, ч. 1 — 1977, 135 с., ч. 2 — 1978. 119 с.

109. Шкленник Л. Я. Состояние и перспективы способа литья по выплавляемым моделям. — Литейное производство, 1980, № 1, с. 21—23.

110. Шпиндлер С. С., Ланда М. И., Мамлеев Р. Ф. Получение плотных пустотелых отливок направленным затвердеванием. — Литейное производство, 1980, № 11, с. 13—14.

111. Шульте Ю. А. Технический прогресс в производстве сталей для отливок. — Литейное производство, 1973, № 4, с. 2—3.

112. Шульте Ю. А. Пути улучшения качества стали в отливках. — Литейное производство, 1977, № 11 с. 23—25.

113. Эмульсионное этилсиликатное связующее/А. Д. Чулкова, В. Н. Иванов, Н. А. Матвеев и др. — Литейное производство, 1972, № 10 с. 8—10.

114. Энциклопедия неорганических материалов. Ч. I и II. Киев: Главная редакция украинской советской энциклопедии. 1977. 813 с.

115. Яковец Ю. Об измерителях и стимулах повышения эффективности производства. — Коммунист, 1979, № 6 с. 74—85.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматические линии:
изготовления моделей 340
очистки отливок от оболочек 348
приготовления суспензии 341
производства мелких стальных отливок 6

Б

Бронзы:
безоловянные 50, 51
марки 50
оловянные 50, 51

В

Выход годного 82—84, 390

Г

Гидролиз ЭТС 208
Гидролизованные растворы ЭТС 210—216

Д

Дефекты отливок:
вмятины 336
заливы 326
засор 331
коробление 89, 337
корольки 334
недолив 86, 329
неметаллические включения 87
несоответствие механических свойств 338
— структуры сплава 338
— химического состава сплава 338
обезуглерожженный слой стальных и чугунных отливок 335
окалина 335
окисные плены 333
отклонения размеров отливок от требуемых 336
пригар 328
раковины газовые 332
— шлаковые 332
спай 329
трещины горячие 334
— холодные 335

усадочные раковины и пористость 86, 330
утяжины 331
шероховатость поверхности 325

З

Засор 78
Затраты на оборудование 376

К

Контроль качества модельных составов:
определение линейной усадки модельного состава 140
— прочности 142
— стойкости к деформации 145
— твердости 144
— текучести 147
— термического расширения 144
— отливок:
визуальный 305
внутренних дефектов 317
герметичности 320
механических свойств 309
на отсутствие трещины 316
размеров 306
структуры 313
химического состава 304
Коробление отливок 89, 337

Л

Латуни:
марки 52
физико-механические свойства 52
химический состав 52
Литая резьба. См. *резьба литая*
Литниково-питающая система (ЛПС) 54
— — типы:
боковая прибыль 59
вертикальный коллектор 58
— —, заполняемый снизу 59
верхняя прибыль 59
горизонтальный коллектор 57
местная прибыль и коллектор 61
система местных прибылей 61
центральный стояк 56
— — нормализация и стандартизация 89
— — применяемость 56

М

- Метод вписанных сфер 68
- приведенных толщин 63
- свободной заливки 161
- Модели:
 - изготовление запрессовкой из пастообразных составов 152
 - из компактного полистирола 164
 - методом свободной заливки 161
 - специальными методами 166
- удаление. См. *удаление моделей*
- Модельные составы:
 - классификация 114, 119, 120, 121, 123
- материалы:
 - буроугольный воск 128
 - канифоль (гарпиус) 129
 - карбамид 129
 - нитрат калия 130
 - парафин 126
 - полистирол 130, 131
 - полиэтилен 131
 - стеарин 128
 - торфяной воск 128
 - церезин 126
 - свойства 117, 118, 119, 124
 - требования 124

О

- Оболочка:
 - двухслойная 176
 - многослойная 176
 - стойкость термическая 203
 - химическая 207
 - сушка 223
 - теплофизические свойства 205
- Оболочковые формы:
 - классификация 179
 - конструкция 179
 - линейное расширение 179
 - свойства физические 202
 - химические 181
- Отливки:
 - армирование 24
 - брак 320
 - выбор толщины стенки 25
 - дефекты. См. *дефекты отливок*
 - затвердевание 21—23
 - качество 13
 - конструирование пазов и отверстий 29
 - конусность 31
 - механические свойства 18
 - нормативы размерной точности 15
 - отрезка 282
 - очистка 284, 293
 - припуски на механическую обработку 33—35
 - сопряжение двух стенок 28—29
 - трех стенок 29

- термическая обработка 298
- точность размеров 13
- шероховатость поверхности 17

П

- Печи:
 - газовые 236
 - дуговые вакуумные 273
 - индукционные 251, 253
 - с высокотемпературным слоем огнеупора 237
 - электрические 236
- Плавка сплавов:
 - алюминиевых 266
 - для постоянных магнитов 264
 - магнелиевых 271
 - медных 275
 - специальных 262
 - стали 255
 - титановых 272
- Плены 79, 80
- Полимеризация 208
- Поликонденсация 208
- Пресс-формы:
 - для получения моделей из пенополистирола 101
 - классификация 91
 - многогнездные 94, 97
 - одногогнездные 99
 - подготовка 151
 - размеры полости 90
 - шероховатость 93

Р

- Расчет:
 - выхода годного 82—84
 - газопроницаемости оболочки 204
 - коэффициента использования площадей 85
 - — расплава 84
 - конфигурации прибыли 67
 - линейной усадки модельного состава 141
 - объема прибыли 66
 - питателя ЛПС 64—66
 - площади поверхности отливки 392
 - приведенной толщины (модуля охлаждения) 63—66
 - продолжительности заливки 74, 77
 - прочности 142, 143
 - оболочковых форм 200
 - скорости заливки 73, 77
 - числа оборудования 371
 - рабочих 374
 - шихты 246
 - элементов питания 62
- Расход:
 - вспомогательных материалов 321
 - электроэнергии 393
- Расходы:

- специальные 394
- цеховые 395
- Резьба литая 31
- Рейнольдса число 87

С

- Сборка моделей:
 - в кондукторе 172
 - механическим скреплением 172
 - припайванием 171
 - склеиванием 175
- Связующие материалы оболочек:
 - амфотерные 194
 - кислые:
 - кремнезоли 193
 - фосфаты 193
 - этилсиликаты 191
 - осиновые 194
- Сплавы:
 - алюминиевые 50, 51
 - для изготовления пресс-форм 107
- литейные:
 - механические свойства 37—39, 41—43, 45, 49, 51—53
 - химический состав 37—39, 41—43, 47, 48, 50, 52, 53
 - магнелиевые 53
 - магнитные 46, 47

- титановые 53

- Стали:
 - высокоуглеродистые 37
 - жаропрочные 40, 41
 - жаростойкие 40, 41
 - коррозионно-стойкие 40
 - легированные 39
 - низкоуглеродистые 37
 - среднеуглеродистые 37
- Стержни керамические:
 - изготовление 242, 243
 - классификация 240
 - свойства 239

У

- Удаление моделей:
 - выжиганием 231
 - растворением 231
- Усадочные раковины 86

Ц

- Цехи:
 - классификация 359
 - оборудование 363—369

Э

- Экономическая эффективность 396

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (В. А. Озеров)	3
Глава 1. Конструирование литых деталей (С. А. Казениов)	12
1.1. Качество отливок	13
1.2. Особенности конструирования отливок	23
Глава 2. Сплавы для литья по выплавляемым моделям (Б. С. Курчман, М. Я. Телис)	36
2.1. Рекомендации по выбору литейного сплава	36
2.2. Углеродистые стали	36
2.3. Легированные стали	39
2.4. Стали и сплавы особого назначения	40
2.5. Цветные сплавы	47
Глава 3. Конструирование и расчет литниково-питающих систем (Н. Н. Лященко)	54
3.1. Выбор типа литниково-питающей системы	54
3.2. Расчет элементов питания	62
3.3. Расчет литниковых каналов	73
3.4. Анализ литниково-питающих систем	82
Глава 4. Проектирование и изготовление пресс-форм (В. Н. Иванов)	90
4.1. Проектирование пресс-форм	92
4.2. Металлические пресс-формы	93
4.3. Гипсовые пресс-формы	104
4.4. Литые металлические пресс-формы	106
4.5. Пресс-формы, изготавливаемые методами гальванопластики, металлизации и напыления	108
4.6. Пластмассовые пресс-формы	109
4.7. Пресс-формы из эластичных материалов	110
4.8. Оборудование для изготовления пресс-форм и их испытания	112
Глава 5. Изготовление моделей (В. А. Озеров)	114
5.1. Классификация и характеристика модельных составов	114
5.2. Свойства модельных составов	124
5.3. Материалы для модельных составов	125
5.4. Приготовление модельных составов	132
5.5. Контроль свойств модельных материалов и составов	139

5.6. Изготовление моделей	151
5.7. Охлаждение и хранение моделей	168
5.8. Сборка моделей в блоки	170
Глава 6. Изготовление литейных форм (Я. И. Шкленик)	176
6.1. Особенности изготовления литейных форм и затвердевания в них отливок	176
6.2. Классификация оболочковых форм	179
6.3. Материалы для оболочковых форм	181
6.4. Свойства суспензий и оболочек	198
6.5. Формирование оболочек	208
6.6. Выплавление (удаление) моделей	228
6.7. Формовка	232
6.8. Прокаливание оболочковых форм	234
6.9. Изготовление керамических стержней	239
Глава 7. Плавка металла и заливка форм (Б. С. Курчман, М. Я. Телис)	245
7.1. Шихтовые материалы	245
7.2. Лигатуры	246
7.3. Расчет шихты	246
7.4. Плавка сплавов	249
7.5. Заливка форм	278
Глава 8. Выбивка, очистка и термообработка отливок (В. Н. Иванов)	280
8.1. Охлаждение залитых форм и выбивка отливок	280
8.2. Предварительная очистка блоков отливок	281
8.3. Отделение отливок от литниковой системы	281
8.4. Очистка отливок из сплавов на железной основе	284
8.5. Очистка отливок из сплавов на алюминиевой основе	292
8.6. Прочие способы очистки отливок	293
8.7. Регенерация формовочных материалов	296
8.8. Удаление остатков литников	297
8.9. Термообработка стальных отливок	298
Глава 9. Контроль качества отливок (Б. С. Курчман)	303
9.1. Классификация отливок по группам контроля	303
9.2. Методы контроля	304
9.3. Брак отливок, его предупреждение и классификация	320
9.4. Исправление дефектов отливок	321
9.5. Организации контроля	323
Глава 10. Комплексная механизация и автоматизация (И. Б. Сокол)	340
10.1. Примеры комплексной механизации и автоматизации	340
10.2. Цехи литья по выплавляемым моделям	358
10.3. Разработка технологической части проекта цеха	360
10.4. Технологические планировки (планы расположения оборудования)	376
Глава 11. Некоторые вопросы экономики (Г. К. Милицын)	386
Список литературы	397
Предметный указатель	403

Валентин Николаевич Иванов, Сергей Александрович Казенков, Борис Семенович Курчман, Николай Николаевич Лященко, Гавриил Константинович Милнцын, Владимир Александрович Озеров, Иосиф Борисович Сокол, Моисей Яковлевич Телис, Ян Иванович Шкленник

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Редактор *Г. Н. Соболева*
Художественный редактор *Ю. Г. Ворончихин*
Переплет художника *С. Н. Орлова*
Технический редактор *Т. И. Андреева*
Корректор *А. М. Усачева*

ИБ № 3372

Сдано в набор 09.08.83. Подписано в печать 27.12.83. Т-23726. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 25,5. Усл. кр.-отт. 25,5. Уч.-изд. л. 30,64. Тираж 11 000 экз.
Заказ 213. Цена 2 р.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.